

Jani Metsä-Turja

## **Hybridilämmitysjärjestelmä**

Konseptin luonti

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Teknologiaosaamisen johtamisen koulutusohjelma

Tekijä: Jani Metsä-Turja

Työn nimi: Hybridilämmitysjärjestelmä - konseptin luonti

Ohjaaja: Markku Kärkkäinen

Vuosi: 2014 Sivumäärä: 121 Liitteiden lukumäärä: 7

---

Ihmisten asenteet ovat muuttuneet uusiutuvaa energiaa kohtaan yhä myönteisemmiksi. Tuulivoiman sekä muiden uusiutuvan energian käyttöönotto ja hyödyntäminen on lähtenyt Suomessa liikkeelle vaihtelevasti. Uusiutuvan energian tehokas hyödyntäminen vaatii uudenlaisten, innovatiivisten ratkaisujen ja toimintamallien etsimistä. Energian hinnan jatkuva nousu motivoi uudenlaisten, puhtaampien sekä laajempien eri laitteistoista koostuvien lämmitysjärjestelmien käyttöönottoon.

Tutkimuksessa perehdyttiin uusiutuvan energian tuotantolaitteistoihin ja järjestelmiin, teoria-aineiston sekä verkossa saatavilla olevan valmistajien, maahantuojien sekä myyjien materiaalien avulla. Tutkimuksessa kartoitettiin laitteistomarkkinoiden nykytilaan, markkinoilla olevia kaupallisia laitteistoratkaisuja sekä niiden soveltuvuutta osaksi hybridilaitteistokokonaisuutta. Tutkimuksen keskeisenä tarkoituksena oli selvittää teknisiä vaatimuksia sekä rajoituksia, jotka vaikuttavat olennaisesti hybridilämmitysjärjestelmäkonseptin määrittelyyn ja suunnitteluun.

Tutkimus toteutettiin luomalla teorian ja markkinoilla olevien laitteistojen perusteella alustava hybridilämmitysjärjestelmämalli, jossa hyödynnetään maalämpöä, aurinkoenergiaa sekä tuulivoimaa. Esille nousseiden teknisten kysymysten kautta lähestyttiin laitteistovalmistajia sekä myyjiä, jotka toimivat tutkimuksen teknisinä asiantuntijoina. Asiantuntijoilta kysyttiin mahdollisia laitteistojen yhdistämisessä esille tulevia teknisiä rajoituksia sekä näkemyksiä tutkimuskohteena olevan hybridilämmitysjärjestelmän toiminnasta, sen tarpeellisuudesta ja tulevaisuuden potentiaalista.

Tutkimuksessa selvisi, että hybridilaitteisto on teknisesti mahdollista suunnitella ja toteuttaa markkinoilla olevilla laitteistoilla ja komponenteilla. Tulosten pohjalta luotiin uudenlainen hybridilämmitysjärjestelmä, jossa keskeisessä roolissa on laitteistot yhdistävä ulkoinen automaatio- ja ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmällä voidaan optimoida laitteistojen tuottoa sekä toimintaa siten, että hybridilaitteistolla voidaan tulevaisuudessa lähestyä jopa energiaomavaraisuutta.

Avainsanat: uusiutuva energia, hybridilaitteisto, lämmitysjärjestelmä, ohjausjärjestelmä

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Master's Degree in Technology Competence  
Management

Author: Jani Metsä-Turja

Title of thesis: Hybrid heating system – creating the concept

Supervisors: Markku Kärkkäinen

Year: 2014      Number of pages: 121      Number of appendices: 7

---

People have changed their attitudes towards the renewable energy ever more positive. In Finland launching and utilization of the wind power and other renewable energy have varied at an initial phase. The efficient utilization of the renewable energy requires finding innovative solutions and operating models. The constantly rising energy prices motivate people to find out and launch the solutions of the totally new, clean and multiple heating systems.

This study concentrated on the renewable energy production systems using both the existing theory and electronic information of the manufacturers, importers and vendors. In this study, the present state of the equipment markets and existing commercial equipment solutions were observed as well as the adequacy of them for being a part of the hybrid heating system entities. The key purpose of the study was to find out both the technical demands and also the limitations which essentially have influence on the definition and planning of the hybrid heating system concept.

This study was executed based on the theory and the existing commercial heating systems; with using this information a preliminary model of the hybrid heating system was created, where the geothermal heating, solar energy and wind energy are utilized. Based on the appeared technical questions the equipment manufacturers and vendors were contacted and they acted as technical experts of this study. The experts were asked to list the possible technical limits which may come out when integrating two or more systems. Their opinions were also asked concerning the functionality of the hybrid heating system as well as its feasibility and its future potential.

As a result of the study it was verified that the hybrid heating system can be technically planned and executed with the existing systems and components. Based on the results a totally new hybrid heating system was created, where the external automation and control system combining two or more systems is in a central role. With the help of the control system it is possible to optimize power output and functioning of the systems even so that it is possible to improve one's self-sufficiency in the energy production in the future.

Keywords: renewable energy, hybrid system, heating system, control system

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO .....	8
KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET.....	10
JOHDANTO .....	12
1.1 Työn tausta .....	12
1.2 Työn tavoitteet.....	14
1.3 Työn rajaukset.....	17
1.4 Työn rakenne .....	18
2 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	20
2.1 Tutkimusmenetelmän valinta .....	20
2.2 Laadullinen tutkimus .....	21
2.3 Suunnittelutieteellinen eli konstruktivinen tutkimus.....	22
3 AURINKOENERGIA.....	24
3.1 Yleistä aurinkoenergiasta.....	24
3.1.1 Auringonpaiste ja -säteily Suomessa .....	25
4 AURINKOLÄMPÖ .....	28
4.1 Aurinkokeräin .....	28
4.1.1 Tasokeräin .....	28
4.1.2 Tyhjiöputkikeräin .....	33
4.2 Ohjaus/pumppujärjestelmä .....	35
4.3 Aurinkolämpöjärjestelmä.....	36
5 AURINKOSÄHKÖ .....	39
5.1 Aurinkopaneelit .....	39
5.2 Aurinkokennot .....	40
5.3 Lataussäädin.....	41
5.4 Akut.....	42
5.5 Invertteri .....	42
5.6 Aurinkosähköjärjestelmä .....	43

6	TUULISUUS.....	45
6.1	Tuulen syntyminen .....	45
6.2	Tuulen nopeus ja suunta.....	45
6.3	Maanpinnalla vaikuttava tuuli .....	47
6.4	Turbulenssi .....	47
6.5	Suomen tuuliolot .....	47
6.6	Tuuliolot maailmalla .....	48
7	TUULIVOIMA .....	49
7.1	Tuulivoiman hyödyntämispotentiaali .....	49
7.2	Tuulivoimala .....	50
7.2.1	Tuulivoimalan rakenne .....	52
7.3	Pientuulivoima.....	56
7.3.1	Pystyakselinen tuuliturbiini .....	56
7.3.2	Vaaka-akselinen tuuliturbiini .....	57
8	MAALÄMPÖ.....	62
8.1	Määrittely .....	62
8.2	Maalämmön keruujärjestelmät .....	63
8.2.1	Maalämpöputkisto .....	64
8.2.2	Kalliolämpö .....	66
8.2.3	Vesistö .....	68
9	LÄMPÖPUMPUT .....	69
9.1	Määritelmä .....	69
9.2	Lämpöpumppujärjestelmän toiminta .....	70
9.3	Kompressorilämpöpumpun toiminta.....	70
9.4	Maalämpöpumppu .....	71
9.4.1	Ohjausjärjestelmä .....	75
10	TUTKIMUSPROSESSI .....	78
10.1	Lähtökohdat .....	78
10.2	Asiantuntijatahot.....	78
10.3	Tavoitteet .....	80
10.4	Toteutus .....	80
10.4.1	Haastattelut.....	82
10.5	Tulokset.....	82

10.6 Yhteenveto .....	84
<b>11 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY .....</b>	<b>86</b>
11.1 Tekniset lähtökohdat .....	86
11.2 Maalämpöpumppu.....	87
11.3 Aurinkokeräimet .....	87
11.4 Aurinkopaneelit .....	88
11.5 Tuulivoima.....	88
11.6 Hybridivaraaja .....	89
11.7 Ohjausjärjestelmä.....	89
<b>12 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITELMA .....</b>	<b>91</b>
12.1 Teknisten ratkaisujen kartoitus.....	91
12.2 Alustavan hybridimallin luonti .....	91
<b>13 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄKONSEPTIN TOTEUTUS....</b>	<b>94</b>
13.1 Yleistä .....	94
13.2 Maalämpö .....	94
13.3 Aurinkokeräimet .....	95
13.4 Tuulivoimala .....	96
13.5 Aurinkopaneelit .....	97
13.6 Hybridivaraaja .....	97
13.7 Ohjausjärjestelmä.....	98
13.7.1 Tiedonkeruu .....	98
13.7.2 Tiedon analysointi .....	100
13.7.3 Ohjaus.....	101
13.7.4 Hallinta .....	102
13.7.5 Hybridilämmitysjärjestelmä .....	103
<b>14 AUTOMAATIO- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY ....</b>	<b>106</b>
14.1 Automaatiokokonaisuus .....	106
14.2 Automaation syötteet ja ohjaukset .....	108
14.3 Automaation kenttälaitteet.....	109
14.4 Logiikka .....	110
14.5 Hallinta .....	111
<b>15 YHTEENVETO JA POHDINTA .....</b>	<b>112</b>
<b>LÄHTEET .....</b>	<b>116</b>

LIITTEET.....	122
---------------	-----

## KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1. Hankkeen toimijat ja päävastuualueet.....	13
Kuvio 2. Omakotiasujan mahdollinen tuotantotapa.....	14
Kuvio 3. Hajautettu pientuotanto vs. keskitetty suurtuotanto.....	15
Kuvio 4. Auringon paistetunnit Suomessa vuosina 1981 - 2010.....	25
Kuvio 5. Suomessa vallitsevat auringon säteilyolosuhteet.....	26
Kuvio 6. Keräimeen kohdistuva säteily ja häviöt.....	29
Kuvio 7. Aurinkeräimen rakenne.....	30
Kuvio 8. Absorptiolevyn pinnoitteen vaikutus tehoon ja häviöihin.....	31
Kuvio 9. Perinteinen ja seuraavan sukupolven absorptiolevyn profiili.....	32
Kuvio 10. Kehittyneen absorptiolevyn profiili.....	32
Kuvio 11. Tyhjiöputken rakenteellinen toiminta.....	33
Kuvio 12. Heat pipe-tyhjiöputkikeräin.....	34
Kuvio 13. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppuyksikön rakenne.....	36
Kuvio 14. Aurinkolämpöjärjestelmän rakenne.....	37
Kuvio 15. Vasemmalla monikiteinen piikenno, oikealla yksikiteinen piikenno.....	39
Kuvio 16. Aurinkokennon toimintaperiaate.....	40
Kuvio 17. Lataussäätimiä.....	41
Kuvio 18. Aurinkosähköjärjestelmä: lataussäädin, akusto, invertteri.....	43
Kuvio 19. Omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän rakenne.....	44
Kuvio 20. Tuulen nopeuden vaikutus ympäristöönsä.....	46
Kuvio 21. Tuulensuunnan asteiden, vastaavuus valitsevana ilmasuuntina.....	46
Kuvio 22. Maapallolla vaikuttavat tuulivyohtykkeet.....	48
Kuvio 23. Airbus A380:n koko suhteessa teolliseen tuulivoimalan roottoriin.....	51
Kuvio 24. Suomen tuulivoimatilastoa.....	51
Kuvio 25. Teollisen tuulivoimalan komponentit.....	52
Kuvio 26. Tuulivoimalan tornin teräslohkon valmistusta.....	53
Kuvio 27. Pystyakseliturbiineja.....	56
Kuvio 28. Vaaka-akselisen pientuulivoimalan sekä sähköjärjestelmän rakenne... ..	58
Kuvio 29. Pientuulivoiman hyödyntämismahdollisuudet.....	61
Kuvio 30. Vuotuiset ilman keskilämpö ja maaperän keskilämpö.....	62
Kuvio 31. Maaperään varastoituneen maalämmön keruujärjestelmät.....	63



Kuvio 32. Normaali lämpökaivon rakenne.....	67
Kuvio 33. Lämpöpumpun tekninen kokoonpano .....	71
Kuvio 34. Osateholämpöpumpun vuotuisen lämpöenergian jakautuminen.....	73
Kuvio 35. Tulistinpiiri, maalämpöpumpun rakenne ja toiminta .....	74
Kuvio 36. Perinteinen lämpöpumpun ohjausyksikkö .....	76
Kuvio 37. Kosketusnäytöllisen ohjasjärjestelmän päätoiminnot. ....	77
Kuvio 38. Opinnäytetyön tutkimusprosessi. ....	81
Kuvio 39. Erillisistä laitteista koostuva lämmitysjärjestelmä .....	92
Kuvio 40. Integroidulla ohjausjärjestelmällä toimiva hybridilämmitysjärjestelmä...	93
Kuvio 41. Tuulivoimalan periaatteellinen kytkentäkuva .....	96
Kuvio 42. Ohjausjärjestelmän osa-alueet.....	98
Kuvio 43. M-Bus-väylän rakenne. ....	100
Kuvio 44. Tekninen kuva hybridilämmitysjärjestelmästä .....	104
Kuvio 45. Automaatiojärjestelmäkokonaisuus.....	107
Taulukko 1. Maaperän ja sijainnin vaikutus vaakaputkistolla saatavasta vuotuisesta lämpöenergiasta .....	65
Taulukko 2. Automaatiojärjestelmän mittaukset ja ohjaukset.....	108

## KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

<b>Absorptio</b>	Absorptio on prosessi, jossa materiaali vastaanottaa itseensä eri aallonpituuksista sähkömagneettista säteilyä. Materiaalin ominaisuudet vaikuttavat sähkömagneettisen säteilyn vastaanottotehokkuuteen. Sähkömagneettisen säteilyn vastaanottaminen saa materiaalissa aikaan lämpötilan nousua. (Motiva 2012a; Konttinen 2004, 1-5.)
<b>Aurinkoenergia</b>	Aurinkoenergia on valtava energiapotentiaali, joka luovuttaa aurinkosäteilyn kautta maan ilmakehään uusiutuvaa energiaa. Auringon luovuttamaa energiaa voidaan hyödyntää ja ottaa talteen aurinkokeräimillä tai aurinkopaneeleilla. (Motiva 2012a.)
<b>CVD</b>	Chemical Vapor Deposition on teollisuudessa käytettävä kemiallinen pinnoitusmenetelmä, jota käytetään hyväksi mm. aurinkokeräimissä (Konttinen 2004, 6).
<b>DC</b>	DC eli tasavirta on sähkövirtaa, jonka napaisuus ei muutu, jolloin virta kulkee samaan suuntaan. Yleisimpiä tasavirtasovelluksia ovat erilaiset akkuja ja pattereita käyttävät laitteistot.
<b>Energia</b>	Energia on fysiikassa esiintyvä keskeinen suure, jota koskee yleinen energiasäilymislaki. Energia voi esiintyä monella eri tavalla: liike-energia, potentiaalienergia, lämpöenergia, sähköenergia, sähkömagneettinen energia yms.
<b>Hajautettu energiantuotanto</b>	Hajautettu energiantuotanto on tuotantomalli, jossa energiaa tuotetaan yleensä pienissä yksiköissä kulutuspaikkojen välittömässä läheisyydessä (Motiva 2010, 6).

<b>Hybridi</b>	Hybridi on vähintään kahden asian, tekniikan, lajin, jne. yhdistämistä yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Esim. hybridiauto, jossa bensiini- ja sähkömoottori on yhdistetty yhdeksi toimivaksi auton voimanlähteeksi.
<b>Invertteri</b>	Invertteri eli vaihtosuuntaaja on laitteisto, jonka tehtävä on muuttaa tasavirtaa vaihtovirraksi eli puhtaaksi siniaalloksi.
<b>Järjestelmä</b>	Järjestelmä on toiminnallinen kokonaisuus, joka koostuu useammasta pienemmästä osasta, jotka ovat läheisesti sidoksissa toisiinsa. Järjestelmän osat on yhdistetty sekä toiminta on sovitettu yhteen tiettyjen määritysten, sääntöjen tai asetusten avulla.
<b>Prosessi</b>	Prosessi on ennalta määrätty joukko ennalta sovittuja toisiinsa liittyviä toistuvia toimintoja. Prosessi tarvitsee toimiakseen tietyt resurssit, joiden avulla prosessi tuottaa haluttuja lopputuotteita.
<b>Ohjausjärjestelmä</b>	Ohjausjärjestelmä on eri laitteistojen ja ohjelmistojen muodostama yhteinen toiminnallinen kokonaisuus, jonka kautta hallitaan ja ohjataan suuremman kokonaisuuden toimintoja.
<b>PVD</b>	Physical Vapor Deposition on teollisuudessa käytettävä fysikaalinen pinnoitusmenetelmä, jota käytetään hyväksi mm. aurinkokeräimissä (Konttinen 2004, 6).
<b>Suomen Tuuliatlas</b>	Karttaliittymä, josta voidaan arvioida tuuliolojen vuotuista ja kuukausittaista vaihtelua joko koko Suomessa tai tietyillä rajatuilla alueilla.
<b>Turbiini</b>	Turbiini on pyörivä kone, jonka tehtävänä on vastaanottaa virtaavan aineen aiheuttama liike-energia ja muuttaa liike-energia pyörimisliikkeeksi sekä välittää pyörimisliike generaattorille.

## JOHDANTO

### 1.1 Työn tausta

Tuulivoiman rakentaminen ja hyödyntäminen on yleisesti ollut vaikeaa, hidasta ja jopa mahdotonta erilaisten ja epäselvien lupa- ja hallintobyrokratioiden vuoksi. Tuulivoiman edistämiseksi on viime vuosina tehty jo monenlaisia toimia, jotka eivät kuitenkaan ole edesauttaneet tuulivoiman kehittymistä vuodelle 2020 asetettujen tavoitteiden mukaisesti. Tämän vuoksi asian ympärille 28.11.2011 perustettiin työ- ja elinkeinoministeriön toimesta Lauri Tarastin vetämä työryhmä, jonka päätehtävä oli vähentää tuulivoiman rakentamiseen ja hyödyntämiseen liittyviä esteitä. Työryhmän 13.4.2012 antaman raportin ja sen sisältämien toimenpide-ehdotusten kautta tuulivoima sai sille kaivattua poliittista näkyvyyttä ja sai samalla herätettyä kaivattua keskustelua asian ympärille. Raportin kautta nostettiin esiin eri hallinnollisten ministeriöiden ja niiden alaisuudessa toimivien organisaatioiden, kuntien, puolustusvoimien, Finavian, Trafian, yms. tahojen pääongelmakohdat, jotka olivat suurimmat rajoittavat tekijät tuulivoiman hyödyntämisessä. (Tarasti 2012b.)

Yksin hallinnollisten ja byrokraattisten esteiden vähentäminen ja poistaminen eivät ole vauhdittaneet tuulivoiman hyödyntämistä riittävän tehokkaasti. Tämän vuoksi on tarvittu myös tukijärjestelmä, jonka tehtävänä on taloudellisesti tukea ja kannustaa tuulivoiman rakentamiseen ja suurempaan hyödyntämiseen sekä laki ”uusiutuvilla energialähteillä tuotetun sähkön tuotantotuesta”, jossa on tarkasti määritellyt vaatimukset, tukimäärät ja -aika, joiden pohjalta esim. tuulivoiman olisi mahdollista saada syöttötariffia. (Tarasti 2012b.)

Nämä yllä mainitut toimenpiteet ovat olleet välttämättömiä, jotta tuulivoiman käyttöönottoaminen helpottuisi ja olisi teknisesti ja taloudellisesti mahdollista toteuttaa. Samalla luotiin pohja sille, että hallituksen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiassa (vuodelta 2008) ja kansallisessa uusiutuvan energian toimintasuunnitelmassa (vuodelta 2010) asetetut vuoden 2020 tavoitteet olisivat realistisia saavuttaa. Vuoteen 2020 mennessä tuulivoimalla tulisi tuottaa sähköä 6 TWh, minkä toteutuminen velvoittaa rakentamaan tuulivoimalakapasiteettia noin 2500 MW. Tämän 2500 MW:n tuotantokapasiteetin tavoitteen kattamiseksi tarvitaan arviolta

noin 800 tuulivoimalaa, mikä tarkoittaa noin kahta tuulivoimalaa per viikko seuraavien kahdeksan vuoden aikana. (Tarasti 2012b. 7.)

Opinnäytetyö syntyi Länsi-Suomen tuulivoimakeskushankkeen tuloksena. Länsi-Suomen tuulivoimakeskushankkeen tarkoituksena on kansallisella tasolla kartoittaa ja tuoda enemmän esiin tuulivoimaan liittyviä mahdollisuuksia ja uhkia. Tämän lisäksi käytännön toimien kautta on tarkoitus pienentää negatiivisia asenteita ja saada tuulivoimalle hyväksyntää. Opinnäytetyön tulosten ja haastatteluiden kautta on tarkoitus edesauttaa yritysten välistä verkostoitumista sekä tukea mahdollisen alihankintaverkoston syntymistä. Verkostoitumisen avulla yritykset voisivat päästä osallisiksi niin kotimaisissa kuin kansainvälisistäkin tuulivoimaprojekteista. Verkostoitumisen kautta yritykset voisivat tarjota asiakkaille lisäarvoa ja saavuttaa itselleen lisää asiakkaita ja liiketoimintamahdollisuuksia.

Opinnäytetyön painopiste ja toiminta jakaantuu pääasiassa kolmen maakunnan alueelle, vaikka mukana on yrityksiä ja toimijoita myös eri puolilta Suomea. Hankkeessa toteuttavina osapuolina omien vastuualueidensa kautta ovat Prizztech Oy (Satakunta), Merinova Oy (Pohjanmaa) ja Thermopolis Oy (Etelä-Pohjanmaa) (kuvio 1).

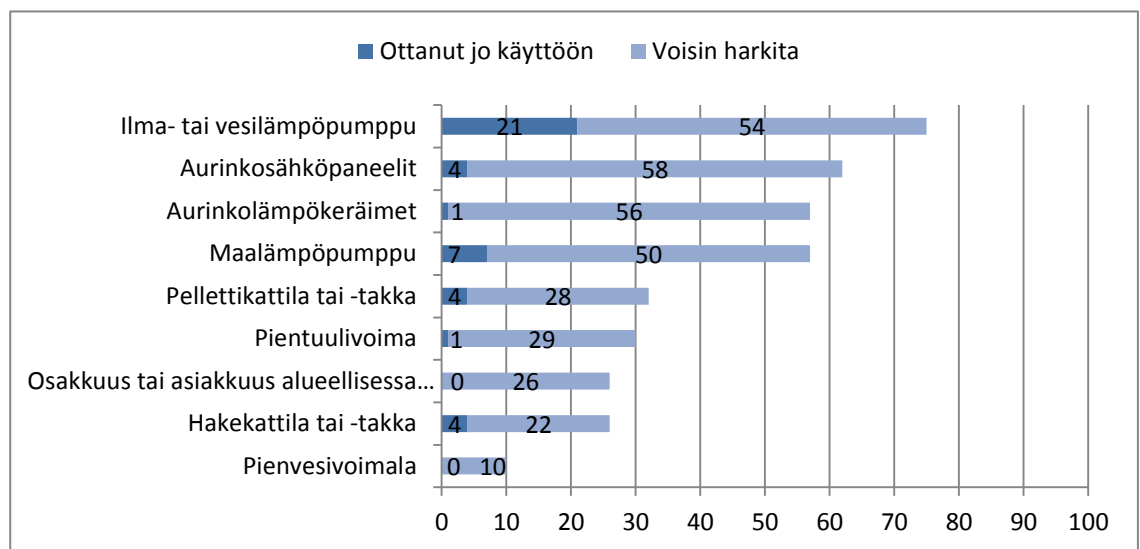


Kuvio 1. Hankkeen toimijat ja päävastuualueet.

## 1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena on pyrkiä etsimään ratkaisuja ja toimintamalleja tuulivoiman käyttöönottoa ja hyödyntämistä hidastavien asenteiden ja muiden hidastavien seikkojen lieventämiseksi. Samalla pyritään korostamaan tuulivoiman tarjoamaa energiantuottopotentiaalia, jota pitäisi tulevaisuudessa yhä laajemmassa mittakaavassa pystyä hyödyntämään.

Energian hinnan jatkuva nousu ja ihmisten pyrkimys puhtaampien ja energiataloudellisempien ratkaisujen hyödyntämiseen ovat vaikuttaneet uusien energiaratkaisujen kehittämiseen ja käyttöönottamiseen. Ihmisten arvot ja asenteet ovat myös muuttuneet vuosien saatossa vaihtoehtoisia energiaratkaisuja suosiviksi. Nämä seikat ovat luoneet tarpeen uusien innovatiivisten ratkaisuiden ja palveluiden kehittämiseksi uusiutuvien energioiden ympärille.

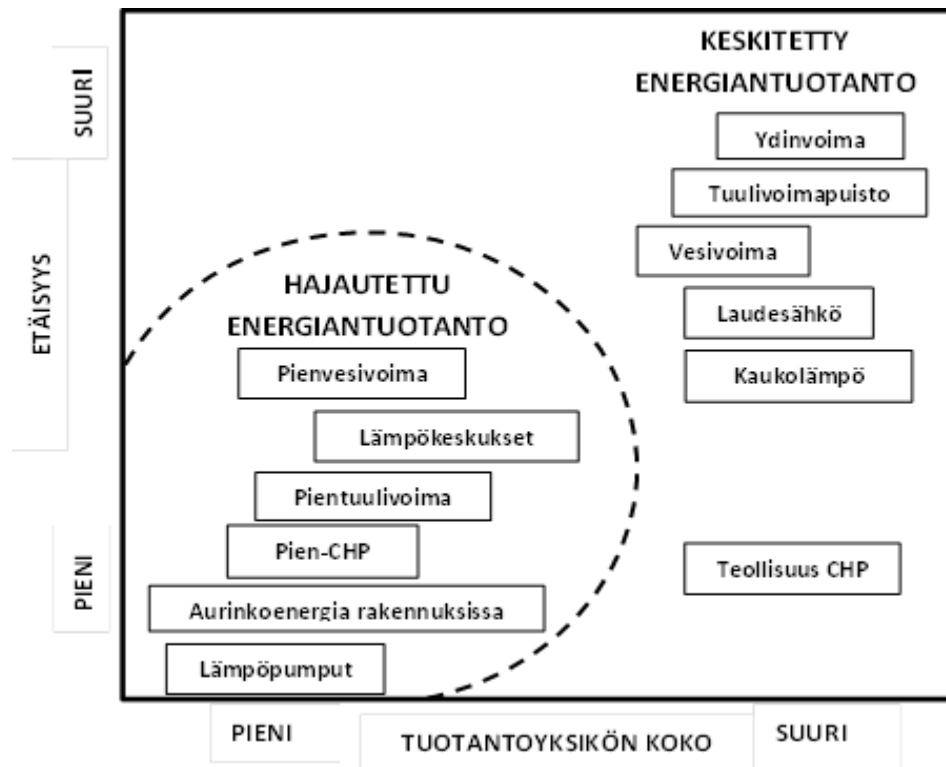


Kuvio 2. Omakotiasujan mahdollinen tuotantotapa (Syvänen & Mikkonen 2010, 15.)

Nykyään on alettu yhä enemmän arvostaa kotimaisten, uusiutuvien ja vaihtoehtoisten energioiden käyttöä (kuvio 2). Samoin on alettu hahmotella energiaa laajempina kokonaisuuksina tai kokonaisratkaisuin, joissa eri energiantuottotavat tukevat ja täydentävät toisiaan. Nämä laajemmat ratkaisut voivat pitää sisällään mm. lämpimän veden tuottoa yhdellä tai useammalla eri tavalla, esim. maaläm-

möllä ja aurinkokeräimillä. Vaihtoehtoisesti järjestelmäkokonaisuus voi myös olla sellainen, jossa siihen kuuluvat laitteistot tuottavat sekä lämmintä vettä että sähköä. Kolmantena vaihtoehtona voi olla kokonaisuus, jossa tuotetaan vain sähköä usealla eri tuotantotavalla. Tällaisia yhdistelmä tai hybridilaitteistoja käytettäessä voidaan hyödyntää uusiutuvaa ja vaihtoehtoista energiaa mahdollisimman monipuolisesti ja tehokkaasti.

Hybridipienenergiaratkaisut tarjoavat myös mahdollisuuden hajautettuun ja paikalliseen uusiutuvan energiantuotantoon (kuvio 3), jolla voidaan esimerkiksi alentaa energian hintaa, tasata kulutushuippuja, taata energiansaanti paikallisesti, nostaa energiaomavaraisuutta, lisätä kilpailukykyä sekä luoda tai tukea uusiutuvaan energiaan liittyvää yritystoimintaa.



Kuvio 3. Hajautettu pientuotanto vs. keskitetty suurtuotanto (Motiva 2010, 6.)

Pientuotantoon on jo olemassa sopivia, toimivia ja kaupallisia ratkaisuja, joita käyttämällä voidaan luotettavasti tuottaa paikallisesti tarpeen mukainen määrä energiaa. Yleensä nämä tuotantolaitteistot suunnitellaan tarkasti kyseisen kohteen tar-

peiden ja käytön mukaan. Pientuotannossa ja etenkin sellaisissa järjestelmissä, joissa samanaikaisesti hyödynnetään useampia energialähteitä täydentämään toisiaan, on vielä hyvinkin paljon kehitettävää. Kehityskohteet liittyvät pääosin laitteistojen yhteen liitettävyyteen sekä laitteistojen yhteistoimintaan ja toiminnan kannalta olennaisten parametrien etsimiseen ja säätämiseen.

Energian pientuotannon ja nimenomaan tehokkaan ja hajautetun energiantuotannon tulevaisuuden puolesta puhuvat myös seuraavat suorat lainaukset:

*”Meillä on näkemys tulevaisuuden energiajärjestelmästä. Kutsumme sitä aurinkotaloudeksi. Tulevaisuudessa käyttämämme energia tulee siis auringosta, joko suoraan aurinkosähkönä tai –lämpönä, tai välillisesti vesi-, aalto-, tuuli- ja bioenergiasta tai maalämmöstä. Lisäksi tulevaisuuden energiajärjestelmä on entistä joustavampi ja tehokkaampi, esimerkiksi älykkään sähköverkon ja energian varastointiratkaisujen ansiosta. Olemme varmoja, että aurinkotalous mahdollistaa kestävä kasvun. Mutta muutos vaatii vielä uutta teknologiaa, investointeja ja yhteisiä päätöksiä koko yhteiskunnassa.” (Hellström. 8.6.2012)*

Lauri Tarasti (2012a) puolestaan ehdottaa, että perustettaisiin yksi työryhmä pohdimaan sitä, miten pienvoimalat voitaisiin integroida kiinni valtakunnan verkkoon:

*”Pidän hyvin tärkeänä, että työryhmä asetetaan miettimään pienvoimalaideoologiaa, oli se sitten maalämpöä, aurinkoa tai tuulta. Niiden hankkiminen pitäisi olla vaivatonta ja yksinkertaista. Tämä ei ratkaise energiaongelmaa, mutta sillä on paikallisesti hyvin suuri merkitys: Esimerkiksi maatalousyrittäjä saisi oman energian tuotettua investointien jälkeen lähes ilmaiseksi. Toinen syy on se, että tämäkin tuotanto on osa hajautettua energiantuotantomallia, joka tuo turvallisuutta ja opettaa ihmiset käyttämään energiaa oikein. Ylimääräinen sähkö saadaan myös siirrettyä valtakunnan verkkoon, eikä harakoille. Siinäkin kysymys kuuluu, kuka suostuu maksamaan siirtoverkon kustannukset.”*



Tavoitteen saavuttamiseksi tässä opinnäytetyössä pyritään löytämään vastaukset seuraaviin kysymyksiin:

- 1) Onko teknisesti mahdollista toteuttaa hybridilämmitysjärjestelmä, jossa yhdistetään markkinoilla olevia laitteistoja yhdeksi järjestelmäkokonaisuudeksi?
- 2) Onko mahdollista rakentaa hybridilämmitysjärjestelmä siten, että sitä voidaan hallinnoida yhdellä keskitetyllä ohjauslaitteella?
- 3) Onko mahdollista toteuttaa konsepti, jossa jokaisen kolmen eri teknologian ja eri valmistajien laitteet olisivat ns. moduuleja, joita kuluttaja voisi vapaasti valita omaan järjestelmäänsä, joita sitten ohjaisi yksi keskitetty ohjauslaite (ohjausjärjestelmä)?

Työn keskeisenä tavoitteena on luoda lämmitysjärjestelmäkonsepti, jossa on selvitetty lämmitysjärjestelmän alustavaa rakennetta sekä keskitetyn ohjauslaitteen vaatimuksia. Keskeisessä roolissa optimaalisen rakenteen, ohjauslaitteen määrittelyn ja toiminnan selvittelyssä ovat laitteistojen valmistajina ja myyjinä toimivat tekniset asiantuntijatahot.

### **1.3 Työn rajaukset**

Tämä opinnäytetyö on rajattu koskemaan sellaisia teknisiä ratkaisuja, jossa lämmitysjärjestelmän tarvitsema lämmin vesi tuotetaan mahdollisimman tehokkaasti käyttäen hyväksi maalämpöpumppua ja aurinkokeräimiä. Lisäksi työn tarkoituksena on tutkia eri laitteistoista koostuvaa hybridilämmitysjärjestelmää, jossa lämmitysjärjestelmän vaatima sähkö tullaan tuottamaan mahdollisimman pitkälle tuuli-voimalla tai aurinkopaneelien avulla. Tällä hybridijärjestelmällä tullaan mahdollisimman omavaraisesti ja energiatehokkaasti tuottamaan kiinteistön lämmittämiseen tarvittava lämmin vesi sekä asukkaiden ja kiinteistön käyttäjien tarvitsema lämmin käyttövesi. Jokainen hybridijärjestelmä suunnitellaan olemassa olevan kohteen erityspiirteiden ja tarpeiden mukaiseksi vastaamaan kohteen tarvitsemaa lämpimän veden mukaista energiamäärää. Tämän vuoksi tässä opinnäytetyössä ei käsitellä tarkemmin hybridijärjestelmän mitoitusta eikä yksittäisten laitteistojen tuottotehoja.

Tämä opinnäytetyö rajataan koskemaan pientä tai keskisuurta energiajärjestelmää, jolloin soveltamiskohteina voidaan pitää tuulivoiman hyödyntämisen osalta pääosin haja-asutusalueella sijaitsevia omakotitaloja, maatalousyhtymiä, yrityksiä, kasvihuoneita yms. Aurinkopaneeleilla tapahtuva sähköntuotanto antaa mahdollisuuksia hybridilaitteiston soveltamiseen myös taajama-alueilla. Tuulivoiman osalta työssä käsitellään teoriaosiossa myös teollisen mittaluokan voimaloita. Hybridilaitteistokonseptin osalta keskitytään pientuulivoiman sovelluksiin, jolloin tuulivoiman koko tässä työssä rajoitetaan maksimissaan 50 kW. Juuri 50 kW:n tuulivoimaloita pidetään monissa tapauksissa pientuulivoiman ja teollisen sähköntuottamisen rajana. Muille yksittäisille laitteistoille ei tässä työssä ja konseptin luonnissa aseteta koko- tai tehorajoituksia. Laitteistojen toiminta ja käytetty tekniikka ei periaatteessa muutu, vaikka konseptissa kuvatun laitteiston tehontarve kasvaisikin. Lämmitysjärjestelmäkonseptin mallintamisessa käytetään kuitenkin yksinkertaisuuden vuoksi vain yhtä maalämpöpumppua, aurinkokeräinkokonaisuutta ja aurinkopaneelikokonaisuutta sekä yhtä tuulivoimalaa ja yhtä energiavaraajaa.

#### **1.4 Työn rakenne**

Tutkimuksen jakaantuu teoreettiseen ja empiiriseen osaan. Luvussa 2 käsitellään yleisesti tutkimusmenetelmiä sekä tarkemmin opinnäytetyössä käytettävän tutkimusmenetelmän valintaa. Teoriaosuus jakaantuu lukuihin 3–8. Luvussa 3 käsitellään yleisesti aurinkoenergiaan liittyvää teoriaa, jotta lukija saa perustietämyksen auringosta ennen kuin luvuissa 4 ja 5 käsitellään tarkemmin aurinkoenergian hyödyntämiseen liittyvää teoriaa. Luvussa 4 tuodaan esiin aurinkolämpöön ja aurinkolämpölaitteistoihin liittyvää teoriaa ja vastaavasti luvussa 5 aurinkosähköön liittyvää teoriaa sekä hyödyntämiseen soveltuvia järjestelmän osia.

Luvussa 6 selvitetään mm. tuulisuuden syntyä ja sekä muita tuuleen liittyvää teoriaa. Tuulisuuteen liittyvää perustietoa on hyvä käsitellä ennen kuin käsitellään luvussa 7 tuulivoiman hyödyntämiseen sekä tuulivoimalaitteistoihin liittyvää teoriaa.

Maalämpöön sekä eri lämpölähteisiin liittyvää teoriaa käsitellään yleisellä tasolla luvussa 8. Luvussa 9 selvitetään tarkemmin maalämpöpumpun teoreettista toimintaa sekä maalämpöjärjestelmään liittyviä teknisiä ratkaisuja.

Luvussa 10 kuvataan empiiristä tutkimusprosessia, sekä tarkemmin tutkimukseen liittyviä keskeisiä asioita, tutkimuksen toteuttamista ja tutkimuksen tuloksia.

Luvussa 11 esitellään hybridijärjestelmään suunniteltujen yksittäisten laitteiden ominaisuuksia sekä määritellään näille yksittäisille laitteille tiettyjä vaatimuksia.

Opinnäytetyön luvussa 12, jossa keskitytään alustavan hybridilämmitysjärjestelmän luontiin. Alustava malliratkaisu perustuu pääosin teoreettisen kirjallisuuden pohjalle sekä eri laitteistovalmistajien ja myyjien vapaasti saatavilla oleviin mai-noksiin ja teknisiin materiaaleihin.

Luvussa 13 esitellään hybridijärjestelmän toteutus, eli tekninen konsepti, jossa tuodaan esille kaikkien yksittäisten laitteiden rooli ja toiminta osana suurempaa hybridilämmitysjärjestelmäkokonaisuutta. Kappaleessa tuodaan lisäksi tarkemmin esiin ohjausjärjestelmän rakenne, tärkeys ja rooli koko järjestelmän toiminnan kannalta.

Luvussa 14 nostetaan esille vielä tärkeimpiä asioita, jotka vaikuttavat toimivan oh-jausjärjestelmän suunnitteluun, toimintaan sekä toteutukseen.

Luvussa 15 analysoidaan saavutettuja tuloksia sekä nostetaan esiin työn hyviä ja huonoja puolia. Lopuksi tuodaan esiin kehittämiskohteita sekä mahdollisia toimia, joiden avulla tehtyä tutkimustyötä ja sen tuloksia voitaisiin edelleen jalostaa eteen-päin.

## 2 TUTKIMUSMENETELMÄT

### 2.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Perustutkimusta voidaan suorittaa kahdella eri tavalla jakaantuen kvantitatiiviseen ja kvalitatiiviseen tutkimukseen. Joissakin tapauksissa nykyisin voidaan tutkimuksessa joutua käyttämään myös kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimusten yhdistelmää eli triangulaatiota. (Virsta, virtual statistics [Viitattu 7.6.2014].)

Kvantitatiivisessa eli määrällisessä tutkimuksessa tutkimustiedot kerätään usein tarkasti jäsenneltyjen kyselyiden ja kaavakkeiden avulla. Kvantitatiivisten tutkimusmenetelmien käyttö pohjaa tarkkojen mittausmenetelmien, analyysien ja tilastotieteiden hyödyntämiseen, joiden kautta pyritään tekemään oikeita johtopäätöksiä. (Virsta, virtual statistics [Viitattu 7.6.2014].)

Kvalitatiivisessa eli laadullisessa tutkimuksessa kysymysten asettelu on yleensä vapaata, jolloin haastatteluun osallistuvat henkilöt voivat kertoa kokemuksistaan ja tietämyksestään suhteellisen vapaamuotoisesti. Tästä johtuen yleisesti kvalitatiiviset tutkimusaineistot kootaan ja suoritetaan syvä, teema- tai ryhmähaastatteluiden avulla. Kvalitatiivisella tutkimuksella voidaan haluttuja asioita tarkastella erityisen syvällisesti. (Virsta, virtual statistics [Viitattu 7.6.2014].)

Tämän opinnäytetyön tutkimusosuudessa ei suoranaisesti tulla käsittelemään tai keräämään mitään määrällistä, matemaattisia, tilastollisia tai muuten suoraan mitattavia tai toistettavia aineistoja. Opinnäytetyön tutkimusosuudessa tarvittavan teoria-aineiston lisäksi tutkimusaineistoa pitää täydentää muunlaisella kohdennetulla tiedonhankintamenetelmällä. Tähän tarkoitukseen soveltuvin keino on kerätä tietoa haastatteluiden kautta. Tämän johdosta soveltuvin opinnäytetyössä käytettävä tutkimusmenetelmä tulee perustumaan kvalitatiiviseen eli laadulliseen tutkimukseen.

## 2.2 Laadullinen tutkimus

Laadullinen eli kvalitatiivinen tutkimusmenetelmä pitää sisällään lukuisia erilaisia aineistonkeruu- ja analyysimenetelmiä. Käytetyimpiä aineistonkeruumenetelmiä ovat kuitenkin kysely, haastattelu, havainnointi sekä erilaisiin dokumenttiaineistoon perustuva tieto. Tutkimustarpeen mukaan aineistonkeruu menetelmiä voidaan käyttää yksistään tai tarvittaessa tukemaan toisiaan rinnakkain tai menetelmiä yhdistämällä. (Pitkäranta 2010, 103.)

Tässä yhteydessä on tarpeellista tuoda esiin, että haastattelut ja kyselyt eivät käsitteellisesti eivätkä suoritustavaltakaan ole samanlaisia. Haastattelututkimuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä henkilökohtaista haastattelua, jossa haastateltavalle esitetään kysymykset suullisesti. Kyselytutkimuksessa kysymykset yleensä esitetään kirjallisesti, jolloin niihin myös vastataan kirjallisesti. Kyselyn ja haastattelun erot tulevat konkreettisesti esille tiedonkeruuvaiheessa. (Pitkäranta 2010, 104.)

Haastattelujen etuna on se, että haastattelu on vuorovaikutustilanne, jossa esitetty kysymys on mahdollista toistaa sekä oikaista mahdollisia väärinkäsityksiä, sekä selventää kysymystä ymmärrettävään muotoon. Haastattelun vuorovaikutustilanne joustaa ja antaa mahdollisuuden muuttaa kysymysten järjestystä tai painotusta kesken haastattelun. Tällä tavalla haastattelussa on mahdollista keskittyä sellaisiin kysymyksiin, jotka tutkimuksen kannalta ovat olennaisia tai joihin kaivataan erityisesti vastauksia. (Pitkäranta 2010, 104.)

Tiedonkeruun ja haastattelujen onnistumisen kannalta on tärkeää, että haastattelut pystytään kohdentamaan sellaisille henkilöille, joiden kompetenssi ja kokemus ovat tarpeeksi korkealla tasolla pystyäkseen vastaamaan ja ottamaan kantaa haastatteluissa esitettyihin kysymyksiin. Tämän lisäksi haastattelujen onnistumista voidaan parantaa sillä, että haastateltavat saavat aiheeseen liittyvät kysymyksen etukäteen, jolloin he voivat paneutua asioihin jo etukäteen. (Pitkäranta 2010, 105.)

Tutkimuksen tarpeet sekä tutkittavat ilmiöt vaikuttavat aineiston keräämiseen ja valittavaan haastattelumalliin. Haastattelut voidaan toteuttaa lomakehaastattelu-, teemahaastattelu tai syvähaastattelumallin avulla. Käytännössä näiden haastattelumallien eroavaisuus perustuu ainoastaan haastattelussa käytettävän tutkimuk-

sen ja siinä esitettyjen kysymysten strukturoinnin asteeseen. (Pitkäranta 2010, 106.)

Lomakehaastattelussa haastattelun toteutus on hyvin lähellä kyselyä ja tämän vuoksi lomakehaastattelun kysymykset ja vastausvaihtoehdotkin ovat hyvin pitkälle rajattu. (Pitkäranta 2010, 106.)

Teemahaastattelu on toteutukseltaan puolistrukturoitu haastattelu, jossa haastattelun avoimuus on hyvin lähellä syvähaastattelua. Teemahaastattelussa ei kuitenkaan voi kysellä ennakoimattomasti mitä tahansa, vaan kysymykset perustuvat etukäteen valitun teeman tai asian ympärille. (Pitkäranta 2010, 106.)

Syvähaastattelu on lomakehaastatteluun verrattuna aivan toisessa ääripäässä strukturoinnin suhteen. Strukturoinnin puuttuessa syvähaastattelu on avoin haastattelu, jossa käytetään avoimia kysymyksiä. Avointen kysymysten ja asiantuntevien haastateltavien kautta tutkittavaan ilmiöön tai asiaan voidaan saada todellista syvyyttä. (Pitkäranta 2010, 107.)

Opinnäytetyötä koskevassa tutkimuksessa tullaan aineistonkeruumenetelminä käyttämään teorian osalta kirjallisuutta ja muita dokumentoituja lähteitä. Henkilökohtaisempaa, tarkempaa ja tarpeen mukaan kohdennettua tutkimusaineistoa tullaan keräämään valituille asiantuntijoille järjestettävien syvähaastattelujen kautta. Syvähaastattelun kautta haastatteluun saadaan joustavuutta sekä näin ollen on mahdollista saada mahdollisimman paljon tietoa avoinna oleviin teknisiin kysymyksiin.

### **2.3 Suunnittelutieteellinen eli konstruktivinen tutkimus**

Laadullista tutkimusta voidaan vielä syventää ja sen toteuttamiseksi voidaan käyttää konstruktivistista tutkimusotetta. Konstruktivistista tutkimusotetta käytetään esimerkiksi silloin, kun tutkimuksen kautta halutaan ratkaista todellisessa elämässä esille nousseita ongelmia. Soveltavan tutkimuksen kautta pyritään luomaan uusia innovatiivisia toimintamalleja, organisaatiomalleja, suunnitelmia tai kaupallisia tuotteita. Konstruktiotutkimus perustuu olemassa olevan teorian tiedon hyödyntämiseen.

Konstruktiotutkimusotteen kautta keksitään uutta ja kehitetään vanhaa luomalla jotain aivan uutta ja poikkeuksellista. (Lukka 2001.)

Alla esitettyjen kommentteihin pohjautuen tämän opinnäytetyön tutkimusosiossa voidaan hyvin soveltaa konstruktivistista tutkimusotetta. Opinnäytetyön tutkimuksellisessa osuudessa etsitään ja selvitetään uusia teknisiä ratkaisuja olemassa olevien teoriaosuudessa esitettyjen laitteistojen optimaalisemmalle ja tehokkaammalle hyödyntämiselle. Tutkimus perustuu vanhojen ja olemassa olevien teorioiden ja laitteistojen mahdolliseen hyödyntämiseen uudella tavalla. Tutkimuksessa on tarkoitus selvittää, onko markkinoilla saatavissa uusia teknologisia laitteistoja ja ohjelmia, joilla tämä voitaisiin toteuttaa. Lisäksi tutkimuksessa on tarkoitus luoda uudenlainen malli, jossa kuvataan ja määritellään uudenlaisen erillisistä laitteistoista koostuva hybridijärjestelmän tekninen kokoonpano.

## 3 AURINKOENERGIA

### 3.1 Yleistä aurinkoenergiasta

Yksi elämisen ja ihmisen olemassaolon ehto on aurinko ja sen maapallolle luovut-tama energia. Aurinkoa voidaan pitää ehtymättömänä energialähteenä, johon kaikki ihmisen hyödyntämät energialähteet perustuvat ydinvoimaa lukuun ottamat-ta. Aurinko säteilee maata kohti suuren määrän energiaa, josta suurin osa heijas-tuu ilmakehän ansiosta takaisin avaruuteen. Ilmakehän läpäissyt aurinkoenergia lämmittää maapalloa ja saa maapallolla aikaan erilaisia prosesseja ja luonnonilmi-öitä kuten tuulia, merivirtoja, aaltoja sekä kasvien fotosynteesiä. Fotosynteesin kautta auringon energia muuttuu ja varastoituu orgaaniseksi aineeksi, esim. puuksi tai ruokohelpeksi. Näihin orgaanisiin aineisiin varastoitunut energia saadaan tarvit-taessa jalostettua ja otettua käyttöön esimerkiksi polttamalla. (Kalogiru 2009 1.)

Auringon energiaa on varastoitunut maapallolle jo satojen miljoonien vuosien ajan esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden muodossa (öljy, hiili, maakaasu). Nämä fos-siiliset poltto-ainevarannot ovat kuitenkin uusiutumattomia, näin ollen ne todennä-köisesti loppuvat jossain vaiheessa. Tämän ja ”ekologisten arvojen” ympäristövai-kutusten vuoksi on alettu kehitellä uudenlaisia kestäviä uusiutuvia energiantuotan-toteknologisia vaihtoehtoja. Auringon energiaa on varastoitunut pitkän ajan kulu-essa maaperään, kallioon ja vesitöihin, joista sitä voidaan nykytekniikalla hyödyn-tää. Pääosin kaikki maapallolla käytetyt energialähteet ja tuotantotavat perustuvat tavalla tai toisella auringosta lähtöisin olevan energian hyödyntämiseen. (Opetta-jankoulutuslaitos [Viitattu 28.2.2013].)

Auringon luovuttamalla energialla pystyttäisiin helposti tyydyttämään maailman energiantarve. Tämä kuitenkin vaatisi, että tulevaisuudessa auringon luovutta-maan energiaa pystyttäisiin hyödyntämään maailmanlaajuisesti huomattavasti te-hokkaammin ja taloudellisemmin.



### 3.1.1 Auringonpaiste ja -säteily Suomessa

Suoran aurinkoenergian hyödyntäminen perustuu auringon säteilyn tehokkaaseen keräämiseen ja hyödyntämiseen. Tämän vuoksi asuinpaikalla, laitteistojen sijoittelulla, oikealla asennuksella sekä huoltamisella on suuri merkitys siihen, miten tehokkaasti laitteisto pystyy auringosta lähtevän säteilyn muuttamaan energiaksi.

Suomen aurinko- ja tuotanto-olosuhteet ovat kohtuullisen suotuisat ja Etelä-Suomen säteilyolosuhteet ovatkin verrattavissa esim. Pohjois-Saksan olosuhteisiin. Vaikka Suomessa onkin pitkä muutaman kuukauden kestävä lähes auringoton jakso, sitä kompensoi Suomen valoisa kesäaika. (Aurinkoenergiaa 2014a.)

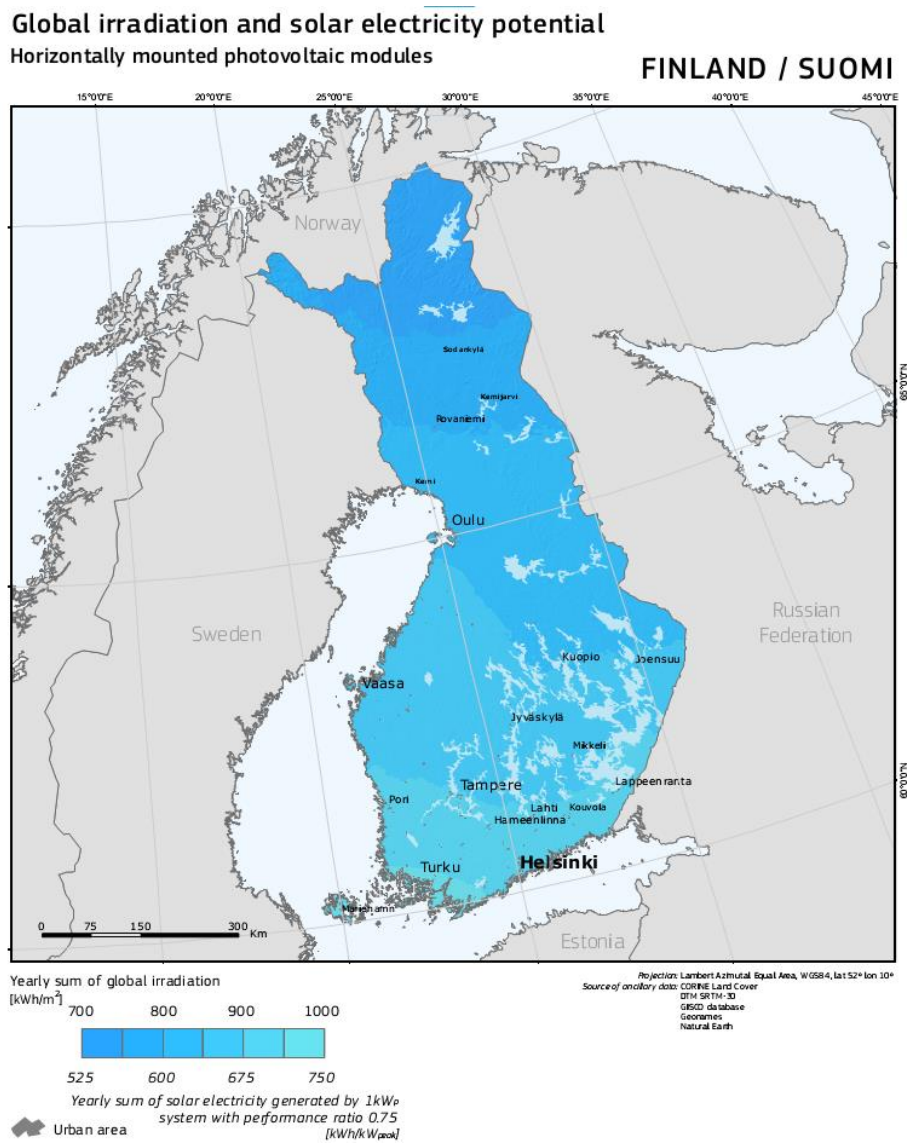
Auringonpaistetuntien summa keskimäärin jaksolla 1981-2010			
Mittauspaikka	summa touko-elokuu tuntia	Mittauspaikka	summa kesä-elokuu tuntia
PARAINEN UTÖ	1197	PARAINEN UTÖ	888
JOMALA MAARIANHAMINAN LA	1140	KOTKA RANKKI	845
KOTKA RANKKI	1138	JOMALA MAARIANHAMINAN LA	843
MUSTASAARI VALASSAARET	1131	MUSTASAARI VALASSAARET	836
TURUN LA	1077	TURUN LA	793
OULUN LA	1064	OULUN LA	791
HELSINKI-VANTAAN LA	1051	HELSINKI-VANTAAN LA	776
SEINÄJOKI PELMAA	1031	SEINÄJOKI PELMAA	759
KOUVOLA UTTI LENTOKENTTÄ	1010	LAPPEENRANTA LA	740
LAPPEENRANTA LA	1006	KOUVOLA UTTI LK	737
JOKIOISTEN OBSERVATORIO	990	SIILINJÄRVI KUOPION LA	732
SIILINJÄRVI KUOPION LA	986	JOKIOISTEN OBSERVATORIO	729
JYVÄSKYLÄ LENTOASEMA	965	ROVANIEMI LA	713
ROVANIEMI LENTOASEMA	950	JYVÄSKYLÄ LA	709
SODANKYLÄ, LIT	902	SODANKYLÄ, LIT	677
UTSJOKI KEVO	754	UTSJOKI KEVO	562

Kuvio 4. Auringonpaistetunnit Suomessa vuosina 1981–2010. (Ilmatieteenlaitos 2013.)

Suomessa Ilmatieteenlaitos mittaa touko-elokuun aikaista auringonpaistetta tunteina kuvion 4 mukaisissa paikoissa. Kuviosta voidaan päätellä, että auringonpaistetta kertyy tarkasteluajankohtana parhaiten aivan rannikon läheisyydessä reilut 1100 tuntia. Aurinko-olosuhteisiin vaikuttavat oleellisesti sekä vuodenaika että paikalliset sääolot. Rannikolla on aurinkoisempaa, koska yleensä sisämaassa pilvisyys lisääntyy päivän kuluessa ja tämä vaikuttaa oleellisesti aurinkotuntien määrään. Talvella joulutammikuussa aurinko ei paista ollenkaan tai aurinkotunnit jää-

vät hyvin vähäisiksi, jolloin auringon hyödyntäminen energian tuotantoon on hyvin vähäistä. (Ilmatieteenlaitos 2013.)

Kesäaikana auringon tuottama säteilyteho on voimakkaimmillaan keskipäivällä juuri touko-heinäkuun välisenä aikana. Kuten alla olevasta kuviosta 5 voidaan havaita, keskimäärin Etelä-Suomessa aurinko tuottaa säteilyenergiaa noin 1000 kilowattituntia vuodessa jokaista yhden neliömetrin kokoista vaakapintaa kohti. Vastaavasti Keski-Suomessa säteilyenergia on noin 800–900 kilowattituntia neliölle sekä pohjoisessa noin 700–800 kilowattituntia neliölle. ( Institute for Energy and Transport [Viitattu 17.10.2013].)



Kuvio 5. Suomessa vallitsevat auringon säteilyolosuhteet. ( Institute for Energy and Transport [Viitattu 17.10.2013].)

Suomessa on otolliset olosuhteet hyödyntää nykyistä enemmän auringon luovutamaa säteilyenergiaa lämmön ja sähkön tuotannossa. Keskimäärin auringon tuottamaa energiaa voitaisiin hyödyntää jopa 9–10 kuukautta vuodesta.

Auringon säteilyenergiaa voidaan hyödyntää sähkön, lämmön ja valon tuottamiseen joko passiivisesti tai aktiivisesti. Passiivisella tuotantotavalla auringon luovutamana lämpö ja valo hyödynnetään ilman, että käytetään hyväksi mitään erityisiä laitteistoja. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa sitä, että aurinko ikkunasta paistaessaan lämmittää asuntoa ja antaa sisälle tarvittavaa valoa. Aktiivisessa tuotannossa käytetään hyväksi erilaisia teknisiä laitteita tai suurempia laitteistokokonaisuuksia, joiden avulla auringonsäteily muutetaan valoksi, sähköksi tai lämmöksi. Aurinkopaneelien avulla auringonsäteily muutetaan sähköksi ja vastaavasti aurinkokeräinten avulla säteily muutetaan lämmöksi. (Aurinkoenergiaa 2014b.)

Auringosta saatavaa energiaa on siis Suomessa tarjolla ja se on lisäksi ilmaista ja päästötöntä. Tätä auringon energiapotentiaalia kannattaa pyrkiä hyödyntämään enemmän ja monipuolisemmin. Aurinkoenergia on kuitenkin todella riippuvainen vallitsevasta vuodenajasta ja vallitsevista olosuhteista, jolloin se ei Suomessa sovellu pääenergiälähteeksi. (Motiva 2012a, 1.)

Aurinkoa hyödyntävien laitteistojen sijoituksella ja suuntauksella voidaan merkittävästi vaikuttaa laitteiston toimintaan ja niiden energiantuotantoon. Optimaalisessa asennuksessa suositellaan, että aurinkokeräimet ja aurinkopaneelit kohdistetaan suoraan etelän suuntaan ja noin 45 asteen kallistuskulmaan. Laitteistojen asennus lounaan tai kaakon suuntaan vaikuttaa aurinkoenergian saatavuuteen ja aurinkoenergian kokonaisvuosituottoon karkeasti noin 10 %. (SOLPROS AY 2006, 8.)

Optimaalisella asennuksella saadaan vuosittainen paras tuotto, joka keskittyy suurelta osin keskikesän energiantuottojen huippulukemiin. Kesällä energiantarve ei kuitenkaan ole huippulukemissa, jolloin kaikkea energiapotentiaalia ei kesällä useinkaan voida hyödyntää. Laitteistojen sijoituksella ja varsinkin laitteistojen kallistuskulmaa muuttamalla pystytään noin 60 asteen kulmaan, voidaan vaikuttaa siihen, että matalalle nousevasta auringosta saatavaa säteilyä pystytään hyödyntämään tehokkaasti juuri syksyn, talven ja kevään aikana, jolloin lämmitysenergian ja sähköenergian tarve on suurimmillaan. (SOLPROS AY 2006, 8-9.)

## 4 AURINKOLÄMPÖ

### 4.1 Aurinkokeräin

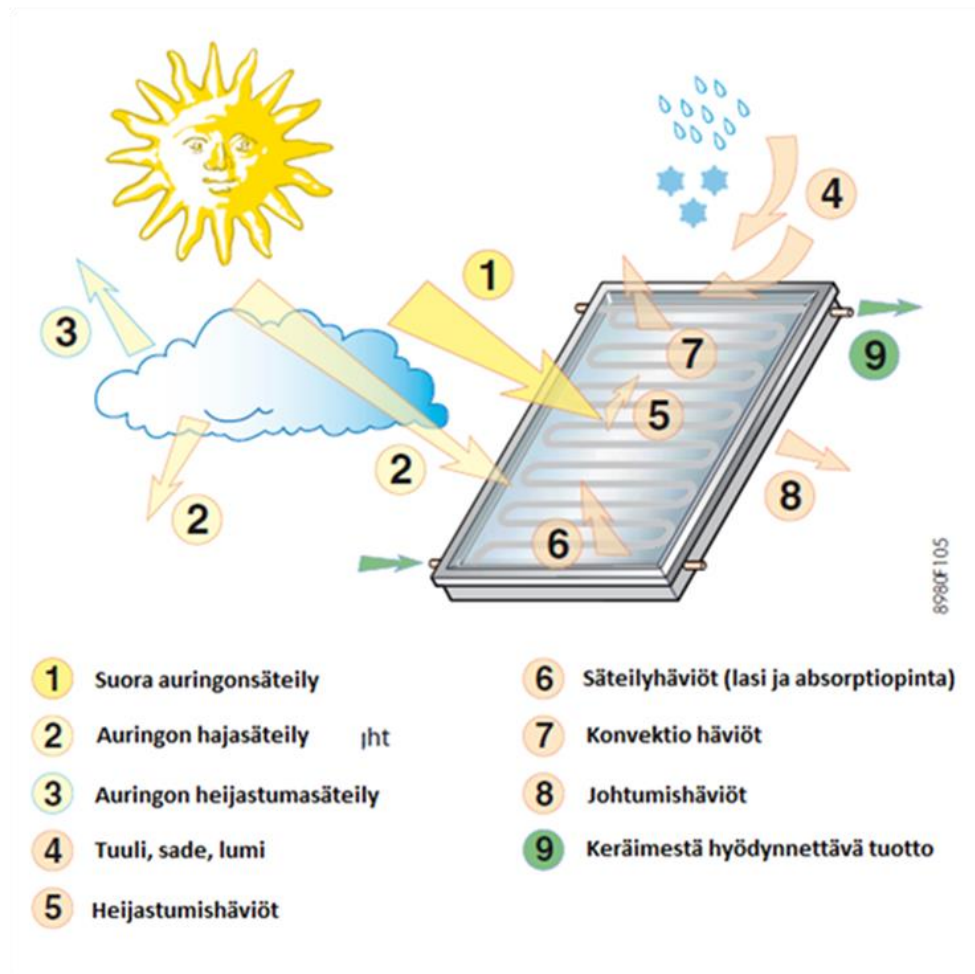
Aurinkokeräin on aurinkolämmitysjärjestelmän keskeisin osa. Itse aurinkokeräimet voidaan jaotella keskittäviin ja ei-keskittäviin keräimiin. Keskittävät keräimet ovat käytössä yleisemmin muualla maailmassa ja niitä ei juurikaan Suomessa käytetä. Lisäksi aurinkokeräimet voidaan rakenteen ja tekniikan perusteella jakaa tasokeräimiin, tyhjiöputkikeräimiin ja kuumailmakeräimiin. (Aurinkoenergiaa. 2014b.) Tässä työssä käsitellään tarkemmin vain ei-keskittäviä keräimiä ja tuodaan esiin tasokeräinten ja tyhjiöputkikeräinten teoriaa ja tekniikkaa.

Aurinkokeräimien tarkoituksena on mahdollisimman tehokkaasti kerätä auringon luovuttamaa säteilyenergiaa sekä siirtää ja luovuttaa säteilyenergian sisältämä lämpöenergia keräimessä olevaan lämmönsiirtonesteeseen tai kaasuun. (Aurinkoenergiaa. 2014b.)

Aurinkokeräimen sijoittelulla on suuri merkitys keräimen toiminnan ja tehokkuuden kannalta. Keräimet kuten muutkin auringonsäteilyä hyödyntävät laitteistot, tulisi sijoittaa siten, että auringonsäteilyllä olisi laitteistoihin mahdollisimman pitkän aikaa päivässä mahdollisimman esteetön pääsy. Yleisimmin aurinkokeräimet suunnataan etelään, jolloin niihin kohdistuu suurin mahdollinen auringonsäteily. (Vääntänen 2012, 13.)

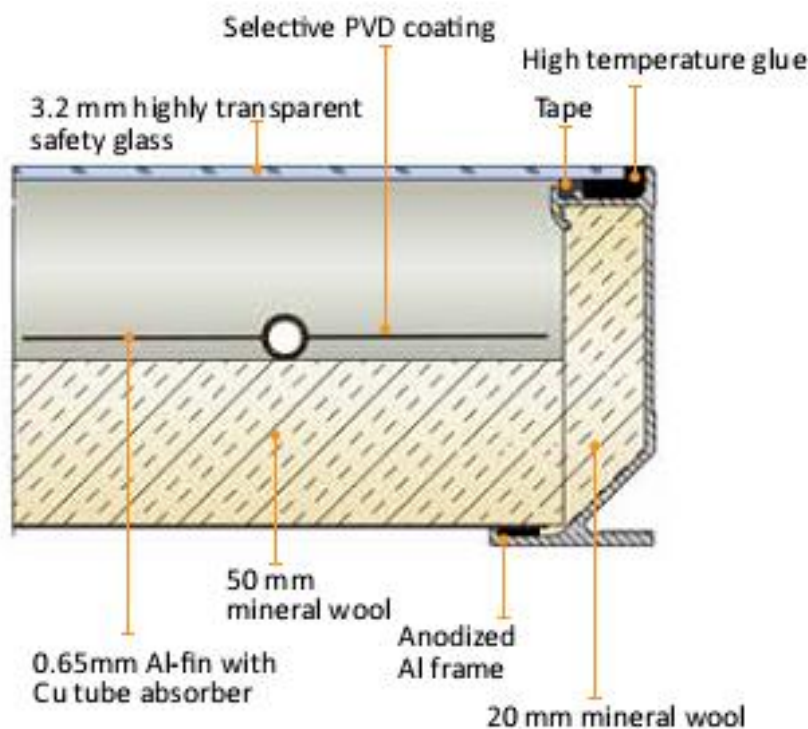
#### 4.1.1 Tasokeräin

Tasokeräimellä voidaan kuvion 6 mukaan tehokkaasti hyödyntää suora auringon säteily sekä keräimeen osuvat haja- ja heijastesäteily. Samaan aikaan tasokeräin on alttiina erilaisille sääilmiöille, jotka aiheuttavat keräimeen ulkoisia rasituksia sekä erilaisia häviöitä. Kaikkien ulkoisten olosuhteiden aiheuttamien ja keräimessä syntyvien häviöiden jälkeen keräimen ulostulosta saadaan todellinen keräimen lämpötuotto. (Callidus [Viitattu 25.4.2014].)



Kuvio 6. Keräimeen kohdistuva säteily ja häviöt (Callidus [Viitattu 25.4.2014].)

Ulkoisilta ominaisuuksiltaan tasokeräin (kuvio 7) koostuu esim. alumiinisesta rungosta, takalevystä sekä pinnassa olevasta auringon säteilyä läpäisevästä lasi- tai muovilevystä. Keräimen sisäinen rakenne koostuu pinnoitetusta absorptiolevystä sekä absorptiolevyn alapuolelle kiinnitetyistä putkistoista, putkistossa kiertävästä lämmönsiirtonesteestä sekä alapuolella ja sivuissa olevista eristeistä. Lämmönsiirtonesteinä Suomessa käytetään yleisimmin vesi-glykoliseosta sen hyvän pak-  
 kasenkestävyyden vuoksi. Vesi-glykoliseoksella ei ole kuitenkaan yhtä hyvät läm-  
 mönsiirto-ominaisuudet kuin pelkällä vedellä. (SavoSolar 2011.)



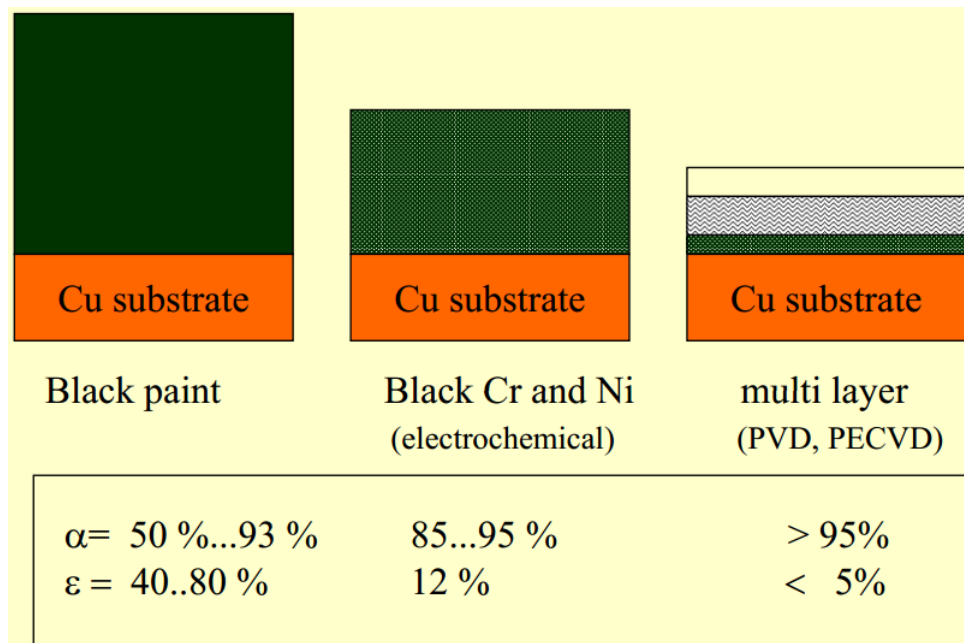
Kuvio 7. Aurinkokeräimen rakenne. (Savosolar 2011.)

Auringon säteilyenergia saadaan talteen ja muutettua lämmöksi kuparisen tai alumiinisen pinnoitetun absorptiolevyn sekä putkiston välityksellä. Absorptiolevyyn sitoutunut lämpö johdetaan absorptiolevyyn kiinnitetyissä putkissa kiertävään lämmönsiirtonesteeseen. Lämmönsiirtoneste kuljettaa lämmön suoraan käyttöpisteeseen tai energiavaraajaan. Keräimen runkorakenteen, eristetyn kotelon sekä pintalevyn tarkoitus on pitää lämpö mahdollisimman hyvin keräimen sisällä ja näin minimoida absorptiolevyyn kohdistuvat lämpöhäviöt. (Motiva 2012a.)

Tasokeräimen toiminnan ja tuottavuuden kannalta yksi tärkein komponentti onkin absorptiolevy sekä sen kyky vastaanottaa ja siirtää lämpöä. Absorptiolevyn profiililla sekä absorptiolevyssä käytetyllä pinnoitteella ja pinnoitetekniikalla voidaan merkittävästi vaikuttaa koko aurinkokeräimen tuottoon ja tehoon (Varjotie 2013.)

Keräimen tehokkuuden ja tuottavuuden nostamiseksi perinteisiä mustia absorptiolevyjen pintoja päällystetään selektiivisellä pinnoitteella, joka sitoo paremmin lämpöä ja samalla pienentää lämpöhäviöitä. Selektiivisten pinnoitteiden kehittämisen kautta keräimien tehot ovat kasvaneet. (Motiva 2012a.)

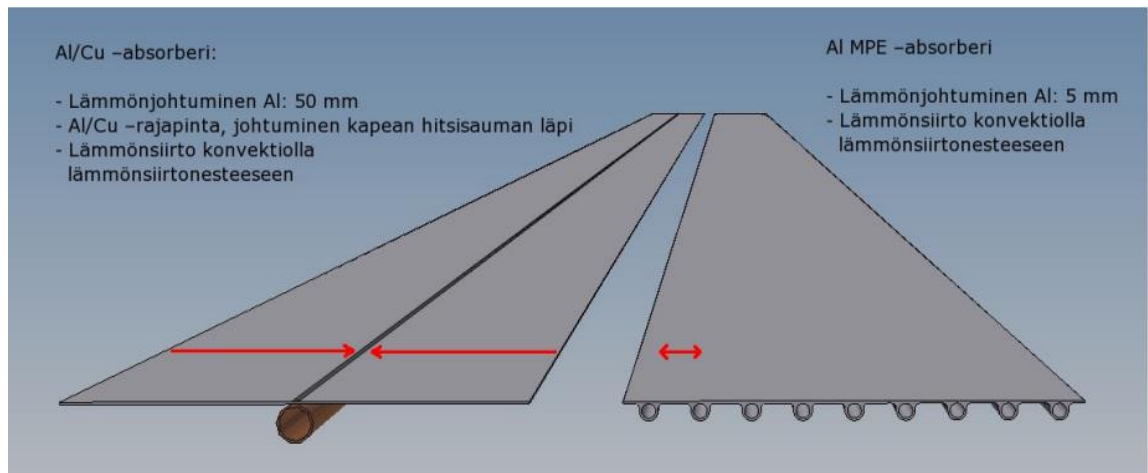
Tehokkaimmissa keräimissä absorptiolevyt pinnoitetaan useammalla eri kerroksella ns. monikerrostekniikalla (kuvio 8). Absorptiolevyn pinnoitus tapahtuu fysikaalisessa (PVD) tai kemiallisessa (CVD) prosessissa. Jokaisella pinnoitekerroksella on omat fyysinen ominaisuutensa, joiden tehtävä on joko vastaanottaa tai estää auringonsäteilyä. Yhteiskäytöstä saavutetaan tehokas, hyvin vastaanottava ja samalla vähän lämpöhäviöitä aiheuttava absorptiolevy. (Konttinen 2004, 1-5.)



Kuvio 8. Absorptiolevyn pinnoitteen vaikutus tehoon ja häviöihin. (Andritschky 2010.)

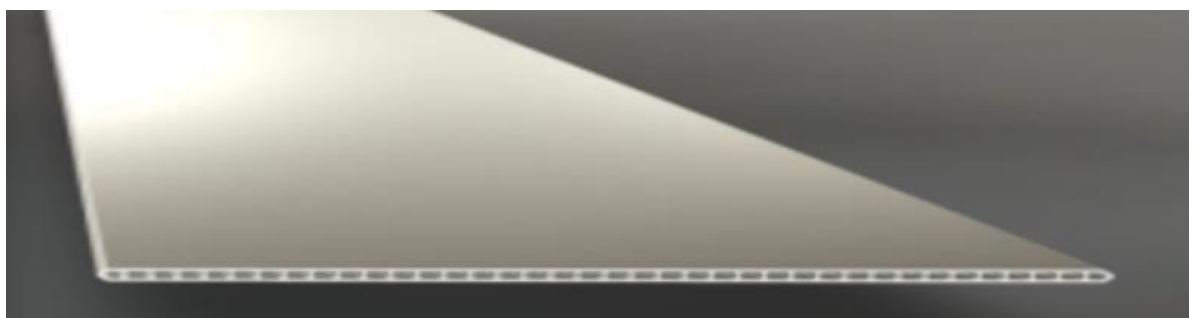
Absorptiolevyn pinnoitteen lisäksi absorptiolevyjen profiileja on kehitetty, jolloin keräimistä on saatu valmistettua tehokkaampia. Kuviossa 9 vasemmalla on esitelty yleisin käytössä oleva absorptiolevyn profiili, jossa absorptiolevy on yleisimmin alumiinia ja absorptiolevyn alapuolelle on hitsaamalla kiinnitetty kupariputki. Lämmön johtuminen tapahtuu 100 mm:n välein oleviin kupariputkiin, jolloin johtumisetäisyys absorptiolevyssä on noin 50 mm kupariputken molemmin puolin. Kupariputkeen ja siellä virtaavaan nesteeseen lämmönjohtuminen absorptiolevystä tapahtuu kuitenkin hyvin kapean hitsaussauman välityksellä. Tällaisella teknisellä ratkaisulla absorptiolevyn johtumispinta-ala sekä putkistoissa kiertävä lämmönkieräysnesteen määrä jäävät melko pieniksi. (Varjotie 2012.)





Kuvio 9. Perinteinen ja seuraavan sukupolven absorptiolevyn profiili. (Varjotie 2012.)

Kuviossa 9. oikealla puolella oleva absorptiolevyn profiili on valmistettu kokonaan alumiinista valamalla siten, että levyn pinta ja putket muodostavat yhden kiinteän valmiin kokonaisuuden. Tässä profiilissa putkien halkaisija pienenee, mutta lukumäärä moninkertaistuu. Samalla 100 mm leveän absorptiolevyn alapuolella on kehittyneemmässä profiilissa yhdeksän lämmönkeruuputkea 5 mm:n välein. Tässä profiilissa levyn johtumisetäisyys putkiin on vain noin 2,5 mm putken molemmin puolin. Materiaalin ja valmistekniikan kehittämällä sekä putkien lukumäärän kasvattamisella saavutetaan huomattavasti suurempi lämmön johtumispinta-ala sekä putkistoissa vaikuttavan lämmönkeruunesteen määrän kasvu. (Varjotie 2012.)



Kuvio 10. Kehittyneen absorptiolevyn profiili. (Varjotie 2013.)

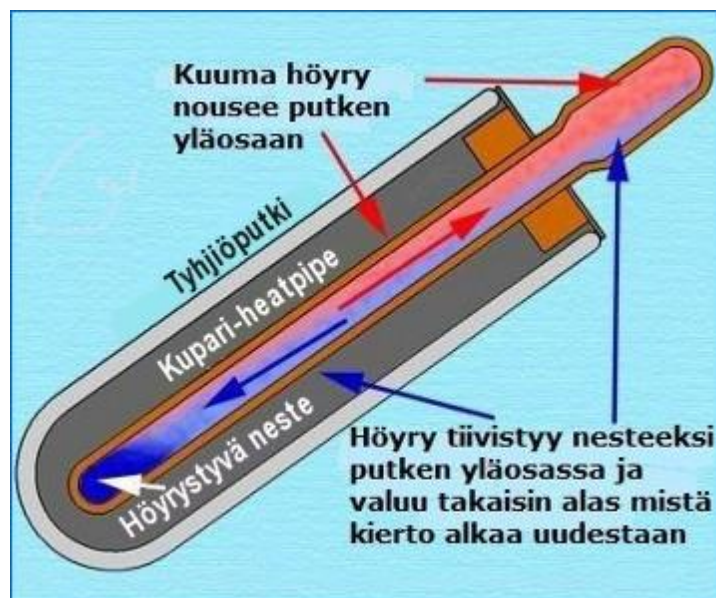
Kehittyneessä profiilissa (kuvio 10) levyn rakenne on muuttunut siten, että levyn alla olevat erilliset putket ovat poistuneet. Uudessa alumiinisessa profiilissa levyn sisällä on kennomainen rakenne, joka on täynnä vierivieressä olevia nestekanavia.



Nestekanavat erottaa toisistaan vain yhden mm:n paksuinen seinämä. Tässä profiilissa lämmön johtumisetäisyys on alle 0,5 mm. Kehittyneimmässä profiilissa johtumispinta-ala ja absorptiolevyssä vaikutta lämmönkeruunesteen määrä on saatu maksimoitua. (Varjotie 2013.)

#### 4.1.2 Tyhjiöputkikeräin

Tyhjiöputkikeräin eroaa rakenteeltaan hyvinkin paljon tasokeräimen rakenteesta. Yksi tyhjiöputkikeräin koostuu kehikosta, useista erillisistä lasista tyhjiöputkista, jotka on liitetty yläosasta jakoyhteen avulla toisiinsa.



Kuvio 11. Tyhjiöputken rakenteellinen toiminta (Energia auringosta [Viitattu 27.4.2014].)

Tyhjiöputki (kuvio 11) muodostuu kahdesta sisäkkäisestä lasiputkesta, joissa sisimmäisen lasiputken pinnassa on absorptiopinta, jonka avulla auringon säteily muuttuu lämmöksi. Kahden lasiputken välissä oleva tyhjiö toimii hyvänä lämmöneristeenä ja estää tehokkaasti sisempään putkeen kohdistuvien lämpöhäviöiden syntymisen. Sisemmän putken sisällä on kuparinen ns. Heat pipe, johon auringon absorptiopinta luovuttaa lämpöenergiaa. Lämpöenergia saa aikaan Heat pipessa nesteen eli alkoholin höyrystymisen. Höyrystynyt neste nousee lämpöput-

ken yläosaan, jossa se luovuttaa lämpöenergian ulkoisessa putkessa virtaavaan lämmönsiirtonesteeseen. Lämmön siirtymisen seurauksena alkoholi lauhtuu ja palautuu takaisin nestemäiseen muotoon. Nestemäinen alkoholi valuu takaisin putken alaosaan, jossa se lämpenee sekä höyrystyy uudelleen, aloittaen lämmitysprosessin alusta (Energia auringosta [Viitattu 27.4.2014].)



Kuvio 12. Heat pipe -tyhjiöputkikeräin (Lämpöässä 2014)

Tyhjiöputkikeräimellä (kuvio 12) voidaan hyödyntää auringon hajasäteilyä sekä epäsäännöllisiä ja lyhyitä auringonpaisteita huomattavasti tehokkaammin tasokeräimeen verrattuna. Tyhjiöputkikeräimen toimintalämpötilat ovat 70–120 astetta, kun taas tasokeräimen vastaavat lukemat 30–70 astetta. Tyhjiöputkikeräimen edut tulevat esille varsinkin keväisin ja syksyisin, jolloin kesään verrattuna auringonpaistetta on saatavilla vähemmän suhteessa kasvavaan energiatarpeeseen nähden. Tasokeräimiin verrattuna tyhjiöputkikeräimillä voidaan hyvissä olosuhteissa saavuttaa jopa 30 % enemmän lämpöenergiaa yhtä neliötä kohden. Tyhjiöputkike-

räimen parempi tuottavuus johtuu osaltaan siitä, että tyhjiöputkikeräimen sisäiset lämpöhäviöt ovat pienemmät tasokeräimeen verrattuna. Osaksi parempi tuottavuus perustuu suurempaan säteilyä vastaanottavaan pinta-alaan, koska tyhjiöputkikeräimet pystyvät vastaanottamaan säteilyä keräimen joka suunnalta. (TEM 2013, 9.)

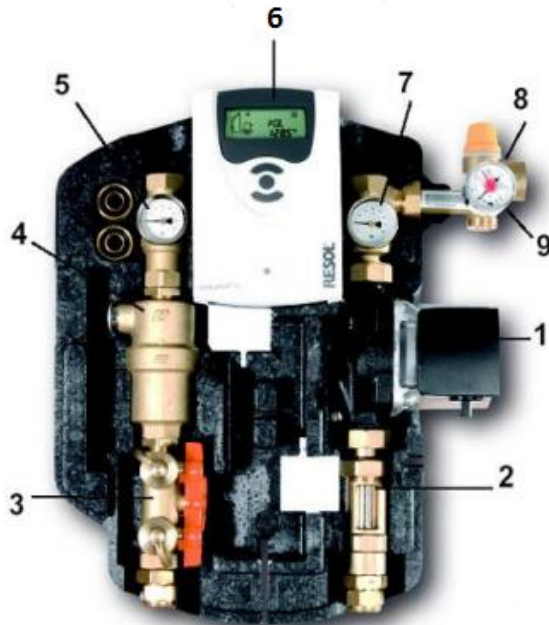
Tasokeräimen asennukseen verrattuna tyhjiöputkikeräimien asentamisessa korostuu entistä enemmän hyvän asennuspaikan tärkeys. Parhaan tuoton ja tehon saavuttamiseksi tyhjiöputkikeräimen asennuksessa tulee varmistaa, että aurinko paistaa keräimiin myös aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä. Kesäisin tyhjiöputkilla saadaan monesti enemmän tehoa kuin on todellinen tarve. Tämä antaa mahdollisuuden asentaa tyhjiöputkikeräimet entistä pystympään asentoon, jolloin niillä on mahdollista saada enemmän tehoa aikaisin keväällä ja myöhään syksyllä. (Motiva 2014; TEM 2013, 9-10.)

Lumiolosuhteet voivat aiheuttaa tyhjiöputkien käytölle ongelmia, minkä vuoksi tyhjiöputkia voi mahdollisesti joutua puhdistamaan lumesta ja jäädystä. Huollettavuuden ja puhdistettavuuden kannalta tyhjiöputkikeräimet pitäisi asentaa sellaiseen paikkaan, johon olisi mahdollisimman helppo ja esteetön pääsy. Tyhjiöputkikeräimissä Suomen olosuhteissa on hieman suurempi rikkoontumisriski kuin tasokeräimillä. Lisäksi tyhjiöputkikeräimissä on ollut hieman halpatuonnista johtuvia laadullista vaihtelevuutta. Hankintahinnaltaan tyhjiöputkikeräimet ovat olleet hieman korkeampia tasokeräimeen verrattuna. (Motiva 2014; TEM 2013, 9-10.)

## **4.2 Ohjaus/pumppujärjestelmä**

Aurinkokeräimen ohjaus-/pumppujärjestelmä kytkeytyy päälle varaajan ja keräimissä vallitsevien lämpötilaerojen mukaan. Ohjausjärjestelmä pystyy myös reagoimaan nopeasti sään muutoksiin esim. auringon mennessä pilveen, jolloin keräimien lämpötuotto laskee. Tällaisessa tilanteessa ohjausjärjestelmä säätää pumpulla lämmönsiirtonesteen virtausta pienemmäksi, katkaisematta kuitenkaan kokonaan keräimien tuottoa. (Jodat 2010.)

Pumppuyksikkö ja kaikki siihen läheisesti kuuluvat osat (kuvio 13) on lämpöhäviöiden minimoimiseksi eristetty. Pumppuyksikköön kuuluvat yleisesti lämpö- ja painemittarit, varoventtiili, kiertovesipumppu, sulku- ja takaiskuventtiilit sekä virtausmittari. (Jodat 2010.)

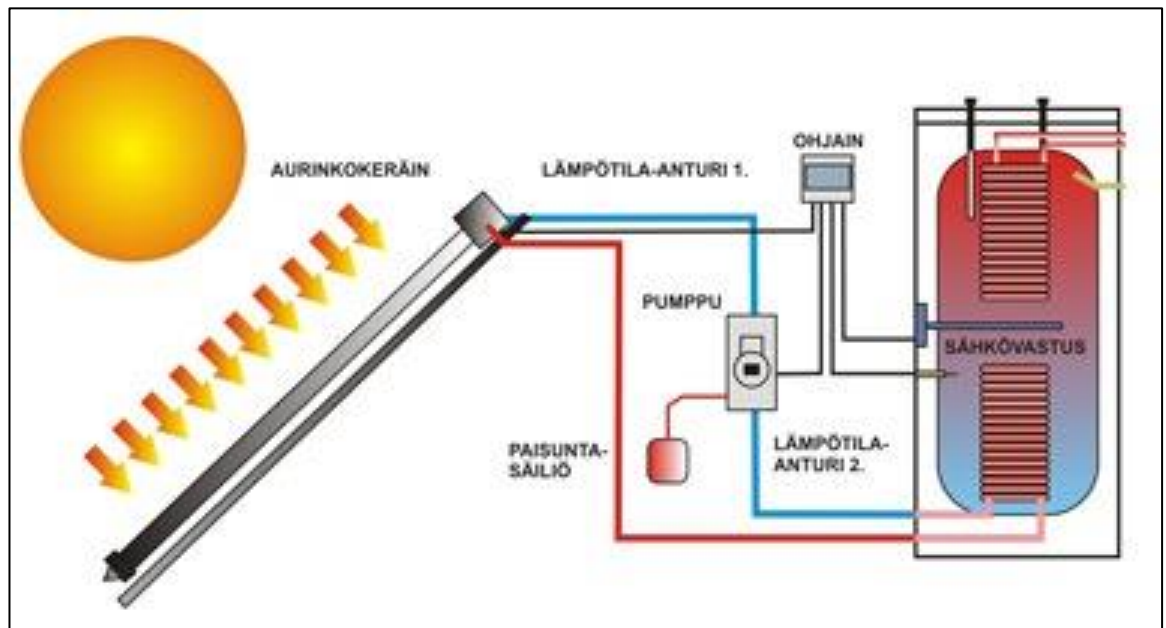


Pumppuyksijön osat	
1. Pumppu	6. Ohjausyksikkö
2. Virtausmittari	7. Paluupiirinlämpötila vapaakierroksen estoventtiili
3. Täyttö- ja huuhteluliitäntä	8. Vatoventtiili
4. Ilmanpoisto	9. Painemittari
5. Menopiirinlämpötila vapaakierron estoventtiili	

Kuvio 13. Aurinkolämpöjärjestelmän pumppuyksikön rakenne. (Jodat 2010.)

#### 4.3 Aurinkolämpöjärjestelmä

Aurinkolämpöjärjestelmän tekninen kokonaisuus (kuvio 14) koostuu yleensä aurinkolämpökeräimestä, putkistosta, venttiileistä, paisunta-astiasta, lämmönvaihtimesta, varaajasta sekä pumpusta ja ohjausyksiköstä. Yleisesti monissa keräimissä ja lämmönvaihtimissa välittäjäaineena kiertää jäätymätön vesi-glykoliseos.



Kuvio 14. Aurinkolämpöjärjestelmän rakenne. (Ground energy [Viitattu 12.4.2014].)

Aurinkolämpöjärjestelmän tehtävä on kerätä teknisen laitteiston avulla auringon säteilemää energiaa ja muuttaa tämä säteilyenergia lämmitysenergiaksi. Aurinkolämpöjärjestelmässä auringon säteilyn lämmittämä jäätymätön lämmönsiirtoneste johdetaan energiavaraajassa olevaan lämmönvaihtimeen, jonka kautta vesiglykoliseos luovuttaa siihen varautuneen lämpöenergian veteen. Lämpöenergiaa luovuttanut jäähtynyt lämmönsiirtoneste ohjataan pumpun avulla takaisin aurinkolämpökeräimeen, jossa se taas lämpenee auringon vaikutuksesta. (Motiva 2012a; SOLPROS AY 2000, 12.)

Pumppua ohjataan ohjausyksiköllä, joka säätelee automaattisesti käynnistymisjaksoja sekä lämmönsiirtonesteen kierrätysnopeutta. Ohjausyksikköön on kytketty normaalisti kaksi lämpötila-anturia, joista toinen mittaa keräimissä olevan nesteen lämpötilaa ja toinen mittaa varaajassa olevan veden lämpötilaa. Pumppu käynnistää nesteen kierrätyksen keräimistä varaajaan vasta, kun keräimessä olevan nesteen lämpötila saavuttaa halutun, yleensä 5–10 astetta korkeamman lämpötilan varaajan veden lämpötilaan verrattuna. Kun aurinko ei lämmitä tarpeeksi, keräimen lämpötila laskee ja lämpötilaero ei ole enää asetetuissa rajoissa. Tällöin oh-

jausjärjestelmä pysäyttää pumpun pyörimisen. Yleisesti ohjausjärjestelmissä on myös asetuksena maksimilämpötila, jonka mahdollisesta ylityksestä ohjausjärjestelmä pysäyttää pumpun pyörimisen. (Motiva 2012a; SOLPROS AY 2000, 12.)

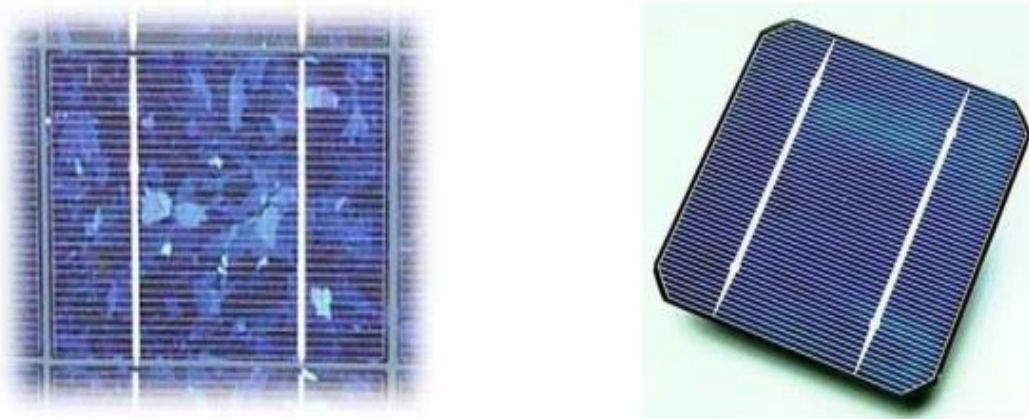
Aurinkoenergian saatavuuden vaihteluista ja kausiluonteisuudesta johtuen aurinkolämpöjärjestelmää käytetäänkin yhdessä jonkun pääenergiälähteen rinnalla tukemassa lämpöenergian tuotantoa. Aurinkoenergiaa hyödyntämällä voidaan vähentää pääenergiälähteen käyttöä sekä ostettavan energian määrää. Samalla aurinkoenergian käyttö auttaa vähentämään muiden energialähteiden käytöstä aiheutuvien päästöjen määrää. (Motiva 2012a.)

## 5 AURINKOSÄHKÖ

### 5.1 Aurinkopaneelit

Aurinkopaneelit ovat tulleet alkujaan tutuiksi mökkien ja vapaa-ajan asuntojen sähköntuotantokäytössä. Paneelien avulla on tuotettu sähköä tilanteissa, joissa sähköön kulutus on ollut pientä ja kausiluontoista, ulkoista sähköverkkoa ei ole ollut saatavilla tai sen rakentaminen ei ole ollut kustannusten vuoksi järkevää toteuttaa. Nykyään aurinkopaneelien käyttömahdollisuudet ovat tulleet laajemmin ihmisten tietoisuuteen, jolloin aurinkopaneeleista on tullut vaihtoehto oman ns. vihreän puhtaan sähköön tuottamiseen. Aurinkopaneelin koko määrittelee aurinkopaneelistä tulevan ulostulojännitteen ja virran. (Aurinkopaneeli [Viitattu 27.4.2014].)

Aurinkopaneelit ovat tuotantolaitteita, jotka koostuvat useista yhteen liitetystä aurinkokennoista eli aurinkokennomoduuleista. Aurinkokennot valmistetaan yksi- tai monikiteisestä piistä (kuvio 15). Yhä useammin valmistukseen käytetään yksikiteistä piitä sen tarjoaman paremman hyötysuhteen vuoksi. Yksikiteisen aurinkokennon tunnistaa kennon pyöreistä kulmista. (Suntekno [Viitattu 24.4.2014].)

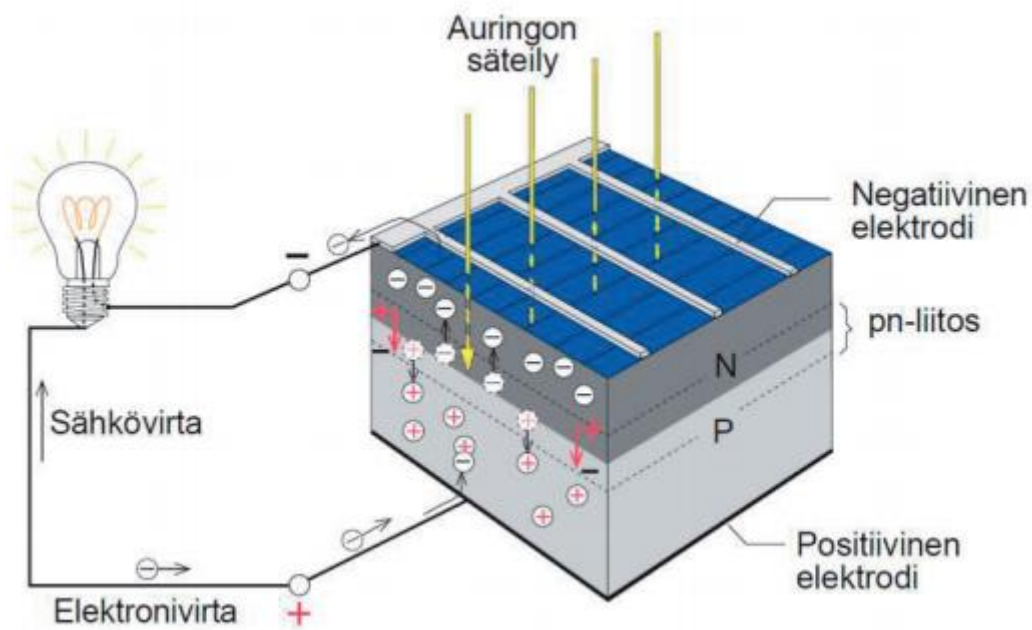


Kuvio 15. Vasemmalla monikiteinen piikkenno, oikealla yksikiteinen piikkenno. (Suntekno [Viitattu 24.4.2014].)



## 5.2 Aurinkokennot

Aurinkokennojen avulla auringon säteilyenergia kerätään ja muutetaan tasasähköksi. Sähköä tuottavat aurinkokennot valmistetaan puolijohdemateriaaleista; kun kahdessa eri kerroksessa olevat ominaisuuksiltaan erilaiset puolijohdemateriaalit yhdistetään, ne muodostavat kerrosten väliin rajapinnan. Auringon valon, ns. valosähköisen ilmiön vaikutuksesta elektronit alkavat liikkua rajapinnan yli, jolloin aurinkokennoon syntyy sisäinen sähkökenttä. (Motiva 2012a.)



Kuvio 16. Aurinkokennon toimintaperiaate. (Aurinkosähköopas tamperelaisille 2013.)

Yksittäisen aurinkokennon toiminta on esitetty kuviossa 16. Aurinkokennon rakenne koostuu p-tyypin ja n-tyypin puolijohdemateriaalista. Kennon toiminta perustuu siihen, että auringon valo saa kennossa valohiukkaset eli fotonit liikkumaan suurella energialla kahden puolijohdemateriaalien väliin jäävän pintakerroksen läpi muodostaen samalla elektroni-aukkopareja. Muodostuvista elektroni-aukkopareista elektronit kulkeutuvat n-puolelle ja aukot taas p-puolelle. Elektronien kulkusuunta on vain yhteen suuntaan eli ne voivat liikkua vain ulkoista johdinta pitkin p-puolijohteeseen, jossa ne voivat taas muodostaa parin sinne kulkeutuneiden auk-



kojen kanssa. Auringon valon aikaan saama elektronien ja aukkojen liike saa aikaan puolijohteessa epätasapainotilan, jota vastakkaismerkkiset varauksen kuljettajat yrittävät liikkeellä saada tasapainotettua. Varauksen kuljettajat kulkeutuvat ulkoiseen piiriin, jossa niiden synnyttämää sähkövirtaa voidaan hyödyntää esim. sähkölampussa. (Suntekno [Viitattu 24.4.2014].)

### 5.3 Lataussäädin

Aurinkosähköjärjestelmän toimintaympäristö on haastava muuttuvista olosuhteista johtuen. Lataussäädin (kuvio 17) on aurinkosähköjärjestelmän tärkein komponentti, kun halutaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti auringosta saatavaa energiaa. Aurinkopaneeleita voidaan hyödyntää ns. saarekeverkossa tai sellaisissa kytkennöissä, joissa paneelit syöttävät energian akkuihin. Tällöin tarvitaan lataussäädintä ohjaamaan energian tuotantoa. Lataussäätimen tehtävä on yksinkertaisesti säädellä järjestelmän toimintaa sekä säädellä järjestelmän sähköntuotantoa. Säätimen tärkein tehtävä on suojata akkujärjestelmää mahdolliselta yllilataukselta. Näiden lisäksi lataussäädin estää sisäisen estodiodin avulla akkujen purkautumisen paneelien kautta silloin, kun aurinko ei paista. (Suntekno 2012.)



Kuvio 17. Lataussäätimiä (Suntekno 2012.)

Aurinkojärjestelmien tekninen kehitys vaikuttaa korkeampien jännitetasojen kautta myös lataussäätimen tekniseen toimintaan. Aikaisemmin aurinkopaneelit määritte-

livät käytettävät jännitetasot, mutta nykyään lataussäätimet mukautuvat eri jännitetasoihin. (Suntekno 2012)

## 5.4 Akut

Akkujen tehtävänä on toimia energiavarastona, josta voidaan tarvittaessa ottaa energiaa laitteiden käyttöön myös silloin, kun aurinko ei paista ja energialähde ei pysty tuottamaan sähköä. Akkujen tärkeys tulee esille saarekeverkkokäytössä, jolloin saatavilla ei ole muuta korvaavaa tai rinnakkaista sähköjärjestelmää, josta voitaisiin tarvittaessa ottaa sähköä. Akkujärjestelmillä pystytään rakentamaan myös tarvittaessa varavoimajärjestelmä varsinaisen sähköjärjestelmän rinnalle, jolloin verkkovian kohdatessa sähkö otetaan akuista ja tuotetaan aurinkopaneeleilla. (Suntekno 2012.)

Akkujärjestelmän valinnan yhteydessä tulee miettiä, kannattaako valita 12 V:n tai 24 V:n akkujärjestelmä. Jännitetaso valinta määrittelee pitkälti myös akkujärjestelmän sähkövarauskapasiteetin suuruuden. Samansuuruiseen akkujärjestelmään voidaan seuraavan esimerkin mukaisesti varastoida 100 % enemmän energiaa.

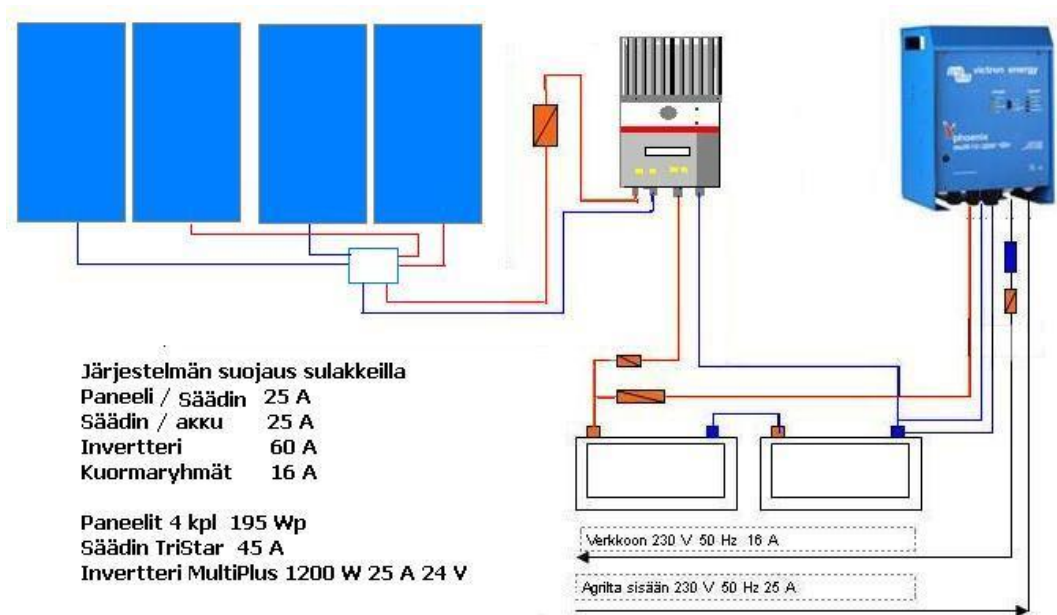
*12 voltin 440 Ah akku pankki, ja 24 voltin 440 Ah akku pankki eivät ole samankäyttöisiä. kapasiteetti ero on 100% . 12 voltia x 440 Ah = 5280 Wh ja vastavasti 24 voltin x 440 Ah = 10560 Wh. (Suntekno 2012.)*

Akkujärjestelmän mitoittamiseen sekä akkujen valintaan vaikuttavat myös käyttötapa eli käytetäänkö akkujärjestelmää tasaisesti vai siten, että siihen kohdistuu suuria kulutushuippuja esimerkiksi viikonloppukäytössä.

## 5.5 Invertteri

Kun halutaan hyödyntää aurinkosähköä omassa sähköverkossa ja halutaan kytkeä aurinkosähköjärjestelmään kuuluvat laitteet kiinteistön sähköverkkoon, tarvitaan verkkoinvertteriä. Sen tehtävä on muuttaa aurinkopaneeleilta tuleva sähkö häiriöttömäksi ja normaaleille sähkölaitteille sopivaksi 230 V:n vaihtojännitteeksi.

Kuvion 18 kytkennässä käytetään invertterin lisäksi lataussäädintä, koska paneeleista saatava sähköenergia johdetaan ensin akkuihin, josta se vasta sitten on käytettävissä invertterille ja muutettavissa normaaliin sähköverkkoon sopivaksi. Kuvion 18 järjestelmässä on invertterillä kytkentä, joka mahdollistaa akkujen latauksen myös ulkoisella laitteistolla (aggregaatti) tai ulkoisesta sähköverkosta. (Suntekno 2012).



Kuvio 18. Aurinkosähköjärjestelmä: lataussäädin, akusto, invertteri. (Suntekno 2012).

## 5.6 Aurinkosähköjärjestelmä

Aurinkopaneelien tuottama tasasähkö (DC) ei suoraan sovellu kovinkaan monen laitteen tarpeisiin. Aikaisemmin aurinkojärjestelmiä käytettiin hyväksi pienissä koh-teissa, joissa paneelien tuottama sähkö ohjattiin ensin akkuun ja vasta sieltä lait-teiden käyttöön. Akkuja käyttämällä voidaan nykyäänkin rakentaa suuria aurin-kosähköjärjestelmiä, jossa akut toimivat varaajan roolissa. Akkujen avulla voidaan tasata auringosta saatavaa tuottoa ja hyödyntää auringon energiaa myös silloin kuin suoraa aurinkoenergiaa ei ole saatavilla. (NAPS, Power of light, 2013.)

Nykyään yhä useammin aurinkosähköjärjestelmät hankitaan normaalin sähköver-kon tueksi tuottamaan rinnalle omaa sähköä. Näissä tapauksissa järjestelmien

rakenne on yleensä sellainen, joissa akustot jäävät välistä pois ja aurinkosähköjärjestelmä kytketään invertterin kautta suoraan kiinni kiinteistön sähköverkkoon (kuvio 19). Tällaisella kytkennällä varustettu aurinkosähköjärjestelmä syöttää sähköverkkoon normaalia vaihtosähköä. Kiinteistöön asennettava aurinkosähköjärjestelmä voi koosta ja invertteristä riippuen olla, joko yksi tai kolmivaiheinen. Suoraan kiinteistön omaan sähköverkkoon kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä antaa mahdollisuuden myös siihen, että ylimääräistä sähköä voidaan verkonhaltijan suostumuksella syöttää yleiseen sähköverkkoon myös muiden käytettäväksi. (NAPS, Power of light, 2013.)



- |                                    |                                 |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Aurinkopaneelit                 | 5. Vaihtovirtapiirin katkaisija |
| 2. Kytkentäkotelo, ylijännitesuoja | 6. Energianmittaus              |
| 3. Tasavirtapiirin katkaisija      | 7. Kiinteistön sähköpääkeskus   |
| 4. Invertteri                      | 8. Verkkoliityntä               |

Kuvio 19. Omakotitalon aurinkosähköjärjestelmän rakenne (NAPS, Power of light, 2013.)

## 6 TUULISUUS

### 6.1 Tuulen syntyminen

Auringon tuottama säteily ja lämpö nostavat maanpinnan ja ilman lämpötilaa. Lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin ja saa samalla aikaan paine-eron, joka synnyttää ilmamassojen liikkeen eli tuuleen. Ilmanpaine-eron suuruus on suoraan verrannollinen tuulen nopeuteen; mitä suurempi paine-ero, sitä suurempi on vaikuttavan tuulen nopeus. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014].)

Tuuli on osaltaan aurinkoenergiaa, joka esiintyy ilmakehässä maanpinnan suuntaisina ilmavirtauksina. Auringon ilmakehän ulkorajalle luovuttaman säteilyn teho on suuruusluokaltaan noin  $1370 \text{ W/m}^2$ . Tästä maapallolle kohdistuvasta aurinkoenergiasta noin 1–3 % muuttuu tuuleksi. Tämä tuulen sisältämä kokonaisenergiamäärä on noin 40-kertainen maapallon kokonaisenergiakulutukseen verrattuna. (STY [Viitattu 30.1.2014].)

Auringon säteilyn lämpövaikutus eri leveyspiireillä on hyvinkin erilaista. Luonnollisesti päiväntasaajan seudulla auringon säteilyn lämpövaikutus on huomattavasti suurempaa kuin lähellä sijaitseville napa-alueilla. Maapallon ilmakehä pyrkii tasaamaan näitä syntyneitä lämpötilaeroja siten, että lämmintä ilmaa virtaa napa-alueille ja samaan aikaan kylmää ilmaa virtaa päiväntasaajan suuntaan. Tuulet siirtävät näin jopa 70 % tästä auringon synnyttämästä lämmöstä. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014]; STY [Viitattu 30.1.2014].)

### 6.2 Tuulen nopeus ja suunta

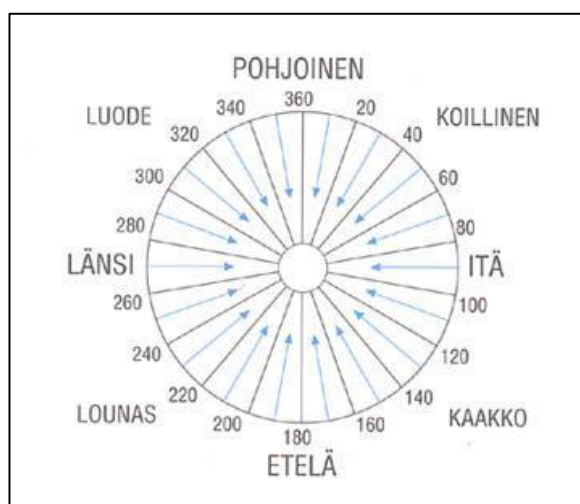
Tuulen nopeuden yksikkönä yleisesti Suomessa käytetään SI-järjestelmän mukaista metriä sekunnissa (m/s). Jos tuulen nopeutta halutaan mitata luotettavasti, on suositeltavaa, että mittaus suoritetaan 10 metrin korkeudella tai vähintään alueella kasvavan puuston latvusten yläpuolella. Kuviossa 20 on tarkemmin esiteltynä Ilmatieteenlaitoksen säätiedotuksissa käyttämää tuulennopeusasteikkoa, jossa

havainnollistetaan tuulen nopeutta sekä esimerkkien valossa tuulen nopeuden vaikuttavuutta vallitsevaan ympäristöönsä nähden.

Säätiedotuksen tuulen nopeudet		
m/s	Kuvaus	Tuulen vaikutukset maalla ja avomerellä
0–3	Heikko tuuli	1 m/s: savu menee tuulen suuntaan 3 m/s: puiden lehdet kahisevat; lyhyitä aaltoja
4–7	Kohtalainen tuuli	Lippu oikeenee; aallon harjat murtuvat
8–13	Navakka tuuli	8–10 m/s: pienet lehtipuut heiluvat; meri kohisee 11–13 m/s: suuret oksat heiluvat; meri kumisee
14–20	Kova tuuli	14–17 m/s: puut heiluvat; aaltojen huiput murtuvat 18–20 m/s: katkoo puiden oksia
21–24	Myrsky	Katkoo puita; aallot korkeita, meri pauhaa
25–28	Kova myrsky	Kiskoo puita juurineen; merellä aaltovuoria
29–32	Ankara myrsky	Kaataa metsää; merenpinta täysin valkoisena
>32	Hirmumyrsky	

Kuvio 20. Tuulen nopeuden vaikutus ympäristöönsä. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014].)

Tuulen suunnasta puhuttaessa tarkoitetaan tuulensuuntaa asteina, josta tuuli puhaltaa. Jos vaikuttava tuulensuunta on 360°, tällöin tuulee pohjoisesta. Vaikuttavaa tuulensuuntaa kuvataan yleisesti tuulensuuntaruusulla, josta asteina ilmoitettu tuulensuunta voidaan helposti nähdä myös ilmansuuntina (kuvio 21). (Ilmatieteenlaitos [Viitattu 28.2.2014].)



Kuvio 21. Tuulensuunnan asteiden vastaavuus valitsevina ilmansuuntina. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014].)

### 6.3 Maanpinnalla vaikuttava tuuli

Tuulivoiman kannalta merkityksellinen tuuli esiintyy maapinnan lähellä ja 200 metrin korkeuteen asti nousevan ilmakehän ns. rajakerroksen välissä. Tällä alueella esiintyvän tuulen ominaisuudet ovat merkittävästi riippuvaisia ympäröivän maaston muotojen ja peitteisyyden sekä muiden virtausesteiden vaikutuksista. Maaston muodoilla on suuri vaikutus tuulen suuntaan ja nopeuteen. Pintakasvillisuus, maaston rosoisuus sekä rakennukset ja rakennelmat pyrkivät vastustamaan tuulen virtausta, jolloin tuuleen syntyy erilaisia häiriöitä, kuten turbulenssia. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014].)

### 6.4 Turbulenssi

Turbulenssilla tarkoitetaan ilmakehässä vaikuttavien virtausten nopeaa epäsäännöllistä vaihtelua ajan suhteen. Turbulenssit syntyvät joko termisesti tai mekaanisesti. Termisellä turbulenssilla tarkoitetaan tilannetta, jossa maan tai merenpinnan tasolla oleva lämmin ilmassa pyrkii nousemaan ylöspäin aiheuttaen ilmakehän sekoittumista. Tämä tulee esiin nopeina muuttuvina virtauksina. Vastaavasti myös ilman jäähtyminen korkealla ilmakehässä saa aikaan jäähtyneen ilmassan vajoamisen, joka aiheuttaa turbulenttisia virtauksia. Mekaaninen turbulenssi muodostuu silloin, kun virtaukset kohtaavat jonkin esteen, jonka seurauksena tuulen virtaukset alkavat pyöriä. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014].)

### 6.5 Suomen tuuliolot

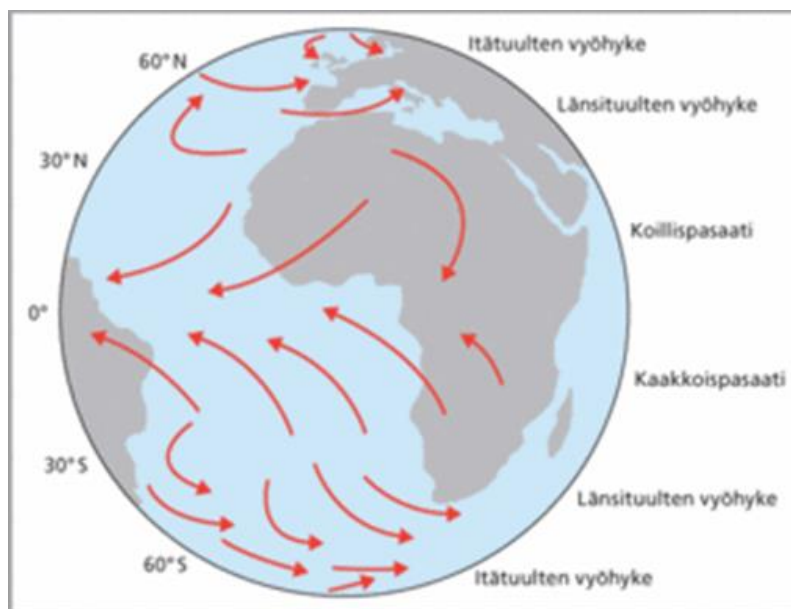
Suomessa vallitseviin tuulisuusolosuhteisiin vaikuttaa oleellisesti Suomen maantieteellinen sijainti. Tämän lisäksi tuulisuusolosuhteisiin vaikuttavat Atlantin matalapaineet sekä niiden reitit. Suomessa vaikuttavat ja vallitsevat tuulet tulevat pääosin lounaasta tai etelä-länsiaksellilta. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014].)

Tuulivoimalan kannalta voidaan todeta, että Suomessa tuulee eniten talvikuukausina ja selvästi vähemmän kesäkuukausina. Suomessa tuulisuus jakaantuu rannikolla, sisämaassa ja tuntureilla vallitseviin tuuliolosuhteisiin. Rannikolla tuulen no-

peuksissa on suuret erot meri- ja maatuuliin verrattuna. Nämä erot kuitenkin tasaantuvat korkeammalle ilmaan mentäessä. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014].)

## 6.6 Tuuliolot maailmalla

Maapallolla (kuvio 22) voidaan erottaa selkeästi kolme vaikuttavaa tuulivyöhykettä: napa-alueilla vaikuttavat itätuulet, keskileveysasteilla vaikuttavat länsituulet sekä trooppisilla alueilla vaikuttavat pasaatituulet (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014]).



Kuvio 22. Maapallolla vaikuttavat tuulivyöhykkeet (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014])

Paikallisesti tuulisuuteen vaikuttavat vallitsevat lämpötilaerot sekä osaltaan maanpinnan laatu, maaston muodot, meren läheisyys sekä vuoristot. Lisäksi paikalliseen hetkelliseen tuulisuuteen ja sen nopeisiin muutoksiin vaikuttavat erityisesti matalapaine ja sen liikkeet. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 29.1.2014].)



## 7 TUULIVOIMA

### 7.1 Tuulivoiman hyödyntämispotentialiaali

Tuulta esiintyy ympäri maailmaa ja näin tuulienergian maailmanlaajuisen hyödyntämispotentialin onkin arvioitu olevan kymmenkertainen maailman sähkönkulutukseen verrattuna. Eurooppaa tarkasteltaessa parhaat tuulivoiman hyödyntämiseen soveltuvat olosuhteet ja alueet löytyvät Britteinsaarilta sekä Ranskasta ja Norjasta. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014b].)

Tuulivoiman hyödyntämisen kannalta parhaat olosuhteet löytyvät Suomen meri-alueella, mutta myös muualta Suomesta löytyy tuulivoiman hyödyntämiseen soveltuvia paikkoja. Merellä 100 metrin korkeudessa vuotuiset keskituulet ovat noin 8,5–10,5 m/s. Vastaavasti rannikolla vuotuiset keskituulet ovat 7,5–9,5 m/s, lisäksi sisämaassa hyvillä, mäkisillä alueilla vuotuiset keskituulet vaihtelevat 6,5–7,5 m/s välissä. (Alm 2012; TEM 2013.)

Suomen tuuliolosuhteisiin perustuvaa tuulienergiapotentiaalia voi karkeasti arvioida vuonna 2009 valmistuneessa Suomen Tuuliatlas -karttaliittymäsovelluksessa. Suomen Tuuliatlas ja sen tarjoama sähköisessä muodossa oleva tuulikartasto on hyvä väline silloin, kun halutaan karkeasti arvioida Suomessa vaikuttavia vuotuisia ja kuukausittaisia tuulioloja jollain rajatulla alueella. Tätä tuulikartastoa voidaan käyttää hyväksi, kun arvioidaan tuuliolosuhteiden perusteella alueita, joille tuulivoimaloita kannattaisi sijoittaa. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014a].)

Tuulikartaston pohjana käytetään numeerista säämallia, johon on simuloitu 72 kuukauden todelliset vaikuttavat sääolosuhteet viimeisen 50 vuoden ajalta. Vuosien 1989–2007 välisenä aikana Suomen valitsemissa tuuliolosuhteissa ei ole tapahtunut merkittäviä muutoksia. Säämalli sisältää tuuliolosuhdetiedot 50 metrin korkeudesta aina 400 metriin asti koko maan kattavasti 2,5 \* 2,5 neliökilometrin tarkkuudella. Suomen rannikolta, tunturialueilta ja muutamilta sisämaa-alueilta on saatavissa tarkempaan 250 \* 250 neliömetriin perustuvaa tuuliolosuhdetietoa. (Suomen tuuliatlas [Viitattu 28.2.2014a].)

Tuuliatlaksen sisältämät tiedot perustuvat tietokonemallinnukseen, jossa kuvataan tietyn alueen keskimääräisiä tuuliolosuhteita. Tiedot pitävät sisällään staattiset kartat, joissa esitetään tuulen keskinopeus (m/s) ja tuulivoimalan nimellistehoaltaan 3 MW turbiinin kuukausittainen ja vuotuinen energiantuotanto eri korkeuksilla.

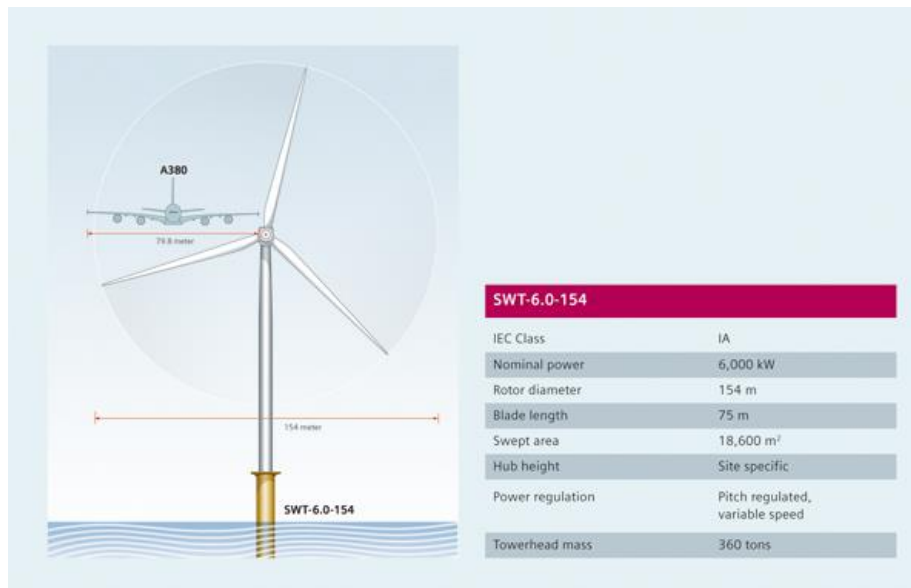
Tuuliatlaksen sisältämät tiedot on mallinnettu ja siten ne ovat vain suuntaa-antavia. Tietojen tarkkuus ei näin ollen riitä investointien ja päätöksenteon pohjaksi. Tuulivoiman rakentamiseen ja siihen liittyvään päätöksentekoon tarvitaan tarkempia tutkimuksia ja tuulusuusmittauksia. Vasta tarkempien suunnitelmien ja tutkimusten pohjalta voidaan tehdä kannattavia ja luotettavia päätöksiä tuulivoimarakentamiseen liittyvistä investoinneista.

## 7.2 Tuulivoimala

Tuulivoimapotentiaalin hyödyntämiseen tarvitaan tuulivoimaloita, jotka muuttavat tuulen aiheuttaman liike-energian halutuksi energiaksi tai energiapotentiaaliksi. Pääsääntöisesti kuitenkin liike-energia muutetaan tuulivoimalan turbiiniin kytketyn generaattorin avulla sähköenergiaksi. Tuulivoimalat käynnistyvät ja alkavat tuottaa voimalasta riippuen sähköä noin 3–5 m/s tuulennopeuksissa ja tuotto nousee nopeasti tuulen nopeuden kasvaessa. Tuulivoimalan nimellisteho ja paras tuotto saavutetaan turbiinista riippuen noin 10–15 m/s olevissa tuuliolosuhteissa. Tuulennopeuden noustessa noin 25 m/s tuulivoimala kytkeytyy pois päältä ja voimala pysäytetään. Liian suuri tuulennopeus ei lisää enää tuulivoimalan tuottoa ja voi aiheuttaa tuulivoimalan mekaanisiin rakenteisiin vahinkoja. (STY [Viitattu 19.3.2014].)

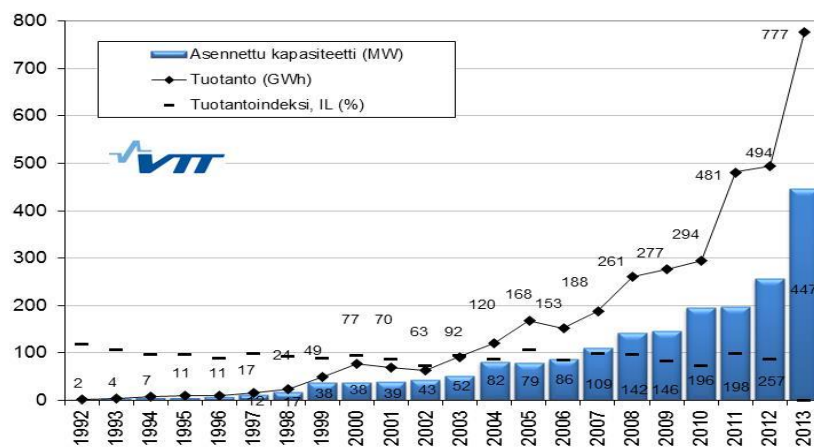
Käytettävät tuulivoimalat voidaan fyysisen koon ja turbiinin nimellistehon mukaan jakaa pientuulivoimaan ja suurtuulivoimaan. Nykyisin suurtuulivoima eli uusien teollisten tuulivoimaloiden turbiinien tehot alkavat sisämaaolosuhteisiin rakennettavista noin 1 megawatin voimaloista ja vastaavasti merelle rakennettavat suurimmat voimalat voivat olla jopa 8 megawatin tehoisia. Suurimpien voimaloiden (kuvio 23) napakorkeus ja konehuone voivat yltää maanpinnasta jopa 140–160 metriin korkeuteen. Roottorin eli siipien halkaisijat voivat olla jopa yli 150 metriä.

Ääritapauksessa suurimmalla turbiinilla ja maksimi roottorin halkaisijalla konehuoneen ja roottorin yhteispaino voi nousta jopa yli 250 tonniin.



Kuvio 23. Airbus A380:n koko suhteessa teolliseen tuulivoimalan roottoriin. (Siemens energy 2014.)

Suomessa rakennettu teollinen tuulivoimakapasiteetti (kuvio 24) oli vuoden 2013 lopussa noin 447 MW, joka koostui 209 tuulivoimalasta. Näillä 209 tuulivoimalalla tuotettiin noin 0,9 % (777GWh) Suomen koko sähkönkulutuksesta. Näissä tilastoissa eivät ole mukana käytettyinä ostetut teolliset tuulivoimalat ja pientuulivoimalat. (VTT 2013.)



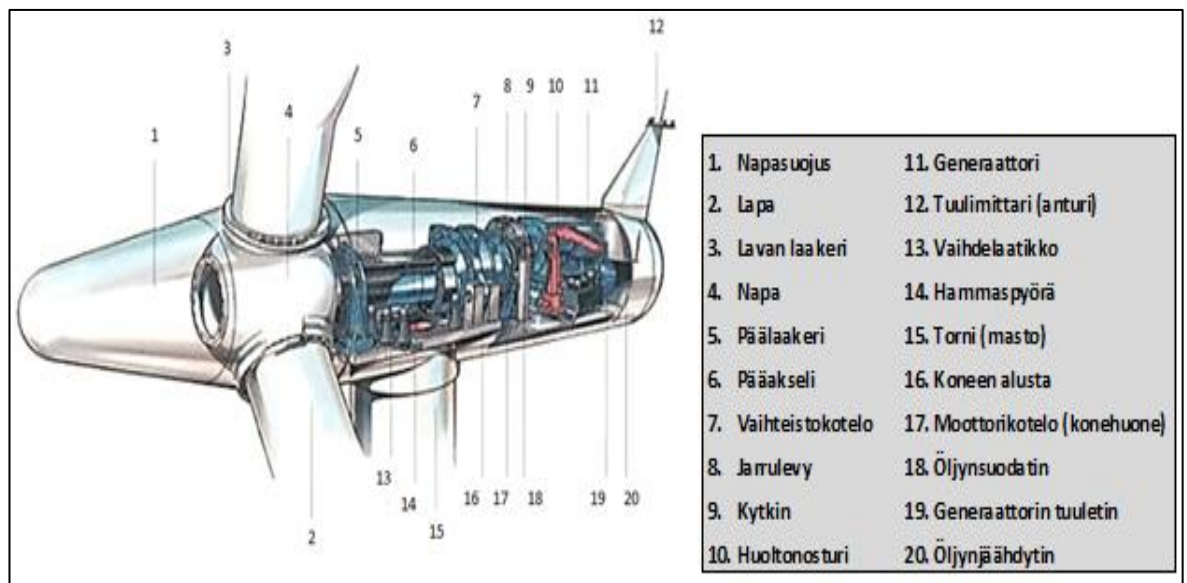
Kuvio 24. Suomen tuulivoimatilastoa (VTT 2013.)

Rakenteellisesti teolliset tuulivoimalat ja pientuulivoimat ovat hyvin samanlaisia laitteita. Suurimmat eroavaisuudet löytyvät suoraan fyysisestä koosta ja sähkötuotokyvystä: Teollisella tuulivoimalalla voidaan samanaikaisesti tuottaa sähköä monen eri kiinteistön tarpeisiin. Pientuulivoimalat puolestaan on suunniteltu ja mitoitettu siten, että niillä pystytään tuottamaan pienen ennalta määrätyn kokonaisuu- den tarvitsema sähköenergia. (STY [Viitattu 19.3.2014].)

Yleisesti pientuulivoimaan luetaan kuuluvaksi kaikki sellaiset tuulivoimalat, joiden siipien kokonaispinta-ala on maksimissaan 200 m<sup>2</sup> ja joissa käytettävän turbiinin nimellisteho alittaa 50 kW (STY [Viitattu 19.3.2014]).

### 7.2.1 Tuulivoimalan rakenne

Tuulivoimala on koosta riippumatta tuotantoyksikkö, johon kuuluvat kaikki ne osat ja komponentit (kuvio 25), jotka vaikuttavat ja mahdollistavat tuulienergian tuottamisen, siirtämisen, muokkaamisen ja varastoimisen. Suurin ero pientuulivoimaloi- den ja teollisten voimaloiden välille syntyy siitä, että teollisessa tuulivoimalassa on naselli, jossa on konehuone. Kyseinen konehuone sisältää komponentteja, joita pientuulivoimassa ei ole, kuten levyjarru, kytkin, generaattorin jäähdytin, mahdolli- nen vaihde sekä muita teknisiä komponentteja. (Vattenfall 2013.)



Kuvio 25. Teollisen tuulivoimalan komponentit. (Vattenfall 2013.)

**Perustukset** ovat tärkeä osakokonaisuus, joka ankkuroi tuulivoimalan rakenteet tiiviisti maaperään ja toimii koko laitoksen kantavana rakenteena. Perustusten tehtävänä on pysyä vakaana ja paikallaan sekä välittää tuulivoimalaan kohdistuvat ulkoiset rasitukset perustusten kautta maaperään. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

**Torni** asennetaan perustukseen kiinni tornin alareunasta olevasta laipasta käyttämällä pulttiliitoksia. Tornin tehtävä on kannatella ja nostaa tuulivoimalan naselli ja roottori haluttuun korkeuteen. Tornin korkeus määräytyy alueella vaikuttavien tuuliolosuhteiden sekä asetettujen tuulivoimalan tuottotavoitteiden mukaan. Tuulen voimakkuus sekä tuulivoimalan tuottama energiamäärä kasvaa merkittävästi, mitä korkeammalle tuulivoimalan turbiini asennetaan. Teollisten tuulivoimaloiden tornikorkeudet vaihtelevat hyvinkin suuresti 60 metristä aina yli 140 metriin. Tornin korkeuden kasvattaminen esimerkiksi 100 metristä 140 metriin voi kasvattaa tuulen nopeutta jopa 2 m/s. Tuulen nopeuden kasvaessa esimerkiksi neljästä metristä kuuteen metriin sekunnissa, tällöin tuulen tuottama teho kasvaa kahdeksankertaiseksi. Tornit kootaan useista lieriömäisistä 20–40 metriä pitkistä teräslohkoista (kuvio 26). Teräslohkot kootaan yhteen ja lohkoissa olevat laipat yhdistetään toisiinsa pulttiliitoksilla. Tornin sisällä on joko portaat tai pieni hissi, joiden kautta tuulivoimalaa voidaan huoltaa. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)



Kuvio 26. Tuulivoimalan tornin teräslohkon valmistusta (Levator Oy 2009)

**Harukset** kuuluvat osaksi tornia, koska ne ovat toisesta päästä suoraan kiinni tornin rakenteissa. Toisesta päästä harukset on vakaasti kiinnitetty harusankkurien avulla kallioon tai muuhun maaperään. Harusten yksinkertainen tehtävä on jakaa tuulen tuulivoimalaan ja sen perustuksiin aiheuttamia voimia harusten kautta maaperään. Tornin harustamisella voidaan varmistaa se, että tuulivoimalan torni pysyy pystyssä kovissakin tuuliolosuhteissa. Tornin harustamisella voidaan lisäksi vaikuttaa perustus- ja tornirakenteiden kokoon pienentävästi. Tällä tavalla voidaan merkittävästi säästää esim. materiaali- ja työkustannuksissa. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

**Roottorin** tehtävä on ottaa tuulen voima mahdollisimman hyvin vastaan ja saada aikaan maksimaalinen pyörintä kulloinkin vallitsevissa tuuliolosuhteissa. Roottori koostuu lavoista, lapojen säätöjärjestelmästä ja navasta. Tuuli aiheuttaa lapoihin voiman, joka saa itse roottorin pyörimään. Roottorin pyörintä välittyy roottorin navan kautta tuulivoimalan pääakselille, josta pyörintäliike välittyy suoraan tai vaihteiston kautta itse generaattorille. Näin pyörintäliike muutetaan sähköenergiaksi. Roottorin lapojen materiaalina on useimmiten käytetty epoksin ja lasikuidun yhdistelmiä. Uusimmat ja kehittyneimmät lavat voivat olla yli 60 metriä pitkiä ja painaa noin 20 tonnia. Tuulivoimalan tehokkaan toiminnan yksi perusedellytys on toimiva ja luotettava lapojen säätökulmien ohjausjärjestelmä. Ohjausjärjestelmän tehtävä on säätää lapoja siten, että ne ovat aina optimaalisessa kulmassa tuuleen nähden. Tällä tavalla tuulesta saadaan maksimaalinen teho kaikissa olosuhteissa. Ohjausjärjestelmä voi teknisesti olla joko sähkömekaanisesti tai sähköhydraulisesti toteutettu. Napa on keskiö, jonka tehtävänä on pitää lavat yhdessä pyörimisen aikana. Napaan kohdistuu pyörimisen aikana suuri kuormitus pyörivän hitausmomentin vuoksi. Valmistusteknisessä mielessä napojen materiaalina käytetään yleisesti pallografiittivalurautaa. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

Roottorilla on keskeinen rooli tuulivoimalan toiminnan, tuottavuuden ja rakenteen kannalta. Tämän vuoksi roottori on osa-alue, jota tutkitaan ja pyritään kehittämään yhä aerodynaamisemmaksi ja suorituskykyisemmäksi. Tutkimusten kautta pyritään löytämään mm. uusia valmistusmateriaaleja, joiden kautta voitaisiin vähentää kustannuksia sekä pidentää komponenttien käyttöikää. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

**Naselli** on tornin huipulle asennettava kokonaisuus, johon kuuluu tuulivoimalan toiminnan ja sähköntuotannon kannalta kaikki tärkeimmät osat. Nasellia käännetään sähkömekaanisella kääntöjärjestelmällä tuulen suunnan mukaan siten, että tuuli kohdistuu voimalaan mahdollisimman optimaalisesti. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

Nasellin konehuone koostuu yleensä sään kestävästä ulkoisista rakenteista, ulkopuolisesta sääasemasta, itse generaattorista ja tehonmuokkaimesta sekä mallista riippuen mahdollisesti myös vaihteistosta. Vaihteistoihin kohdistuu roottorista johutuva suuri vääntömomentti ja tämän johdosta vaihteistot ovatkin yleensä voimaloissa se kriittisin ja heikoin kohta, joka vaatii eniten huoltoa ja kunnossapitoa. Näiden luotettavuusongelmien vuoksi uusissa tuulivoimaloissa käytetään nykyään yhä useammin suoravetogeneraattoria. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

Uusimman teknologian ns. suoravetoisissa tuulivoimaloissa ei enää käytetä välissä vaihteistoa generaattorin pyörimisnopeuden nostamiseksi. Näissä voimaloissa roottori ja suoravetoinen yleensä kestopagneettinen generaattori ovat rakenteellisesti suoraan kiinni samassa akselissa, jolloin niiden pyörimisnopeudet ovat samoja. (Kässi, Lehtovaara, Pyrhönen, Selesvuo, Varis 2013, 10–16.)

Toimiakseen tehokkaasti suoravetoiset tuulivoimalat tarvitsevat tehonmuokkaimia, joiden avulla säädetään tuulivoimalan generaattorin pyörimistä ja siten myös generaattorin tuottamaan tehoa. Tehonmuokkain muuttaa turbiinin sähkön taajuuden oikeaksi ja mahdollistaa voimalan kytkemisen ja sähkönsyötön yleiseen sähköverkkoon. Yleisimmin turbiinien ulostulojännite on 690 V, joka nostetaan muuntajalla ensin tuulipuiston sisäisen sähköverkon vaatimaan 20 kV:n jännitetasoon. Useamman tuulivoimalan sisältämän sisäisen sähköverkon jännite nostetaan lisämuuntajan avulla ulkoiseen yleiseen 110 kV:n sähköverkkoon sopivaksi. (Kässi, Lehtovaara, Pyrhönen, Selesvuo, Varis 2013, 10–16.)

Nasellin sisällä on myös jarrujärjestelmä, jonka avulla roottorin pyörintää voidaan rajoittaa tai pysäyttää. Turbiinin jarrutus toimii kahdessa vaiheessa siten, että ensin aerodynaamisella jarrulla käännetään lavat pois tuulesta, jolloin roottoriin koh-

distuva pyörittävä voima pienenee. Toiseksi roottorin pyörintä pysäytetään käyttämällä hyväksi mekaanista jarrua. (Jääskeläinen, Rantala & Sundelin 2012, 12–13.)

### 7.3 Pientuulivoima

Pientuulivoimassa käytettävät turbiinit ovat huomattavasti teolliseen tuotantoon tarkoitettuja turbiineja pienempiä niin fyysisesti kuin tehollisestikin. Pientuulivoimaa voidaan käyttää hajautetusti jonkin tietyn pienemmän kohteen tarvitseman sähköenergian osittaiseen tai kokonaisvaltaiseen tuottamiseen. Omakoti- ja vapaa-ajan asuntoon tarkoitetun ns. töpselisähkön tuotannon ylittäessä oman kulutuksen ylimääräinen tuotettu sähkö voidaan tietyin ehdoin ja paikallisen sähköverkon hallitsijan suostumuksella siirtää heidän verkkoonsa. Pientuulivoimaloita käytetään hyväksi omassa sähköntuotannossa esimerkiksi maataloilla, kotitalouksissa, vapaa-ajan kohteissa ja veneissä. (STY [Viitattu 22.3.2014].)

#### 7.3.1 Pystyakselinen tuuliturbiini

Pientuulivoimassa käytettävät turbiinit voidaan lisäksi jakaa rakenteen ja toimintatavan mukaan jakaa kahteen eri ryhmään, vaaka-akselisiin ja pystyakselisiin (kuvio 27) turbiineihin.



Kuvio 27. Pystyakseliturbiineja. (CWP Cold Wind Power [Viitattu 29.4.2014]; Windside 2014.)



Vaaka-akselisia tuulivoimaloita on saatavissa 1-, 2-, 3- tai monilapaisina malleina. Ylivoimaisesti suurin osa käytössä olevista pientuulivoimaloista ja teollisistakin tuulivoimaloista ovat vaaka-akselisia ja 3-lapaisia. Pystyakselisia tuulivoimaloita ovat mm. Savonius, Windside, Darreius ja kuppiroottori. Yleisin pystyakselinen turbiinimalli on Savonius–turbiini, jonka toiminta perustuu niin sanottuun tuuliruvuiin. Turbiinin siipi on käännetty ruuvimaiselle kiertelle. (STY [Viitattu 22.3.2014].)

Pystyakseliset tuulivoimalat ovat rakenteeltaan hyvinkin erilaisia ja tällöin myös niiden tekniset ja tuotannolliset ominaisuudet poikkeavat merkittävästi vaaka-akselisista pientuulivoimaloista. Pystyakselisissa voimaloissa roottori on aina kohdistuorassa tuulta vastaan. Tämän vuoksi pystyakselisten tuulivoimaloiden tuuleen kohdistuvaa pyyhkäisyypinta-alaa ei tarvitse suunnata tuuleen, vaan ne toimivat jokaisella tuulen suunnalla yhtä hyvin. Pystyakselisissa voimaloissa pyyhkäisyypinta-ala on suhteellisen pieni verrattuna vaaka-akseliseen voimalaan nähden. Tästä johtuen pystyakseliset voimalat pystyvät hyödyntämään tuulesta vain pienen osan, jolloin niiden sähkön tuotto jää huomattavasti pienemmäksi kuin vaaka-akselisissa voimaloissa. (STY [Viitattu 6.4.2014].)

Pystyakseliset voimalat pystyvät hyödyntämään heikot 1–3 m/s tuulet, joita vaaka-akseliset voimalat eivät pysty hyödyntämään. Lisäksi pystyakseliset voimalat pysyvät toimimaan luotettavasti ja ilman mekaanisia vaurioita jopa 50 m/s tuuliolosuhteissa (STY [Viitattu 6.4.2014].)

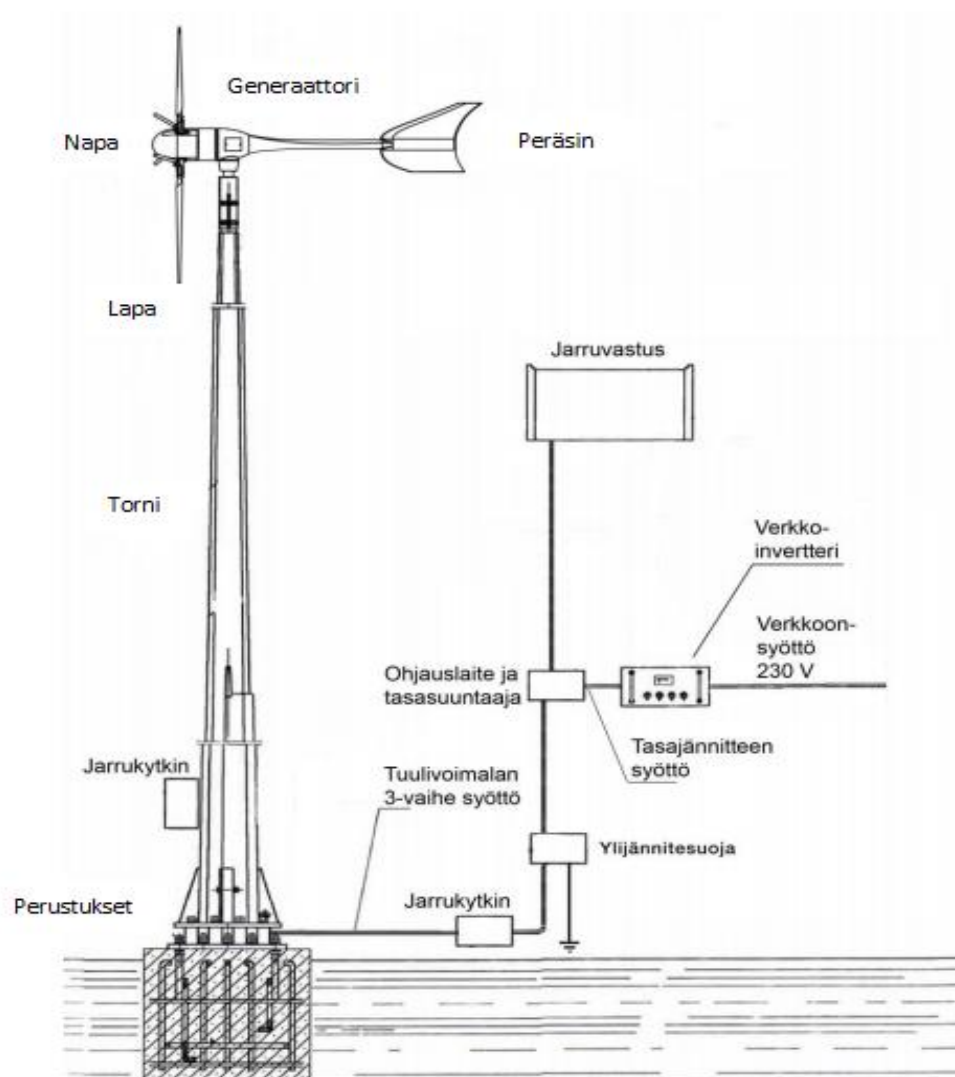
### **7.3.2 Vaaka-akselinen tuuliturbiini**

Rakenteellisesti vaaka-akselisen pientuulivoimalan kokonaisjärjestelmään kuuluvat pääkomponentit (kuvio 28) (generaattori, roottori (napa + lapa), torni, perustukset, sähkö- ja turvallisuusjärjestelmä) ovat yleisesti hyvin samanlaisia kuin teollisessakin tuulivoimalassa, mutta vain pienemmässä ja yksinkertaisemmassa muodossa. (Eklund 2011, 12.)

Pientuulivoimalat ja niiden generaattorit ovat ns. suoravetoisia, eivätkä ne sisällä minkäänlaisia vaihteita. Rakenne perustuu kestomagneettiseen generaattoriin, jossa roottori ja generaattori ovat suoraan kiinni samassa akselissa. Luonnollisesti

tällaisessa teknisessä ratkaisussa roottorin ja generaattorin pyörimisnopeudet ovat yhtä suuria. (STY [Viitattu 19.3.2014].)

Pientuulivoimalat ja niiden sähköjärjestelmien ulostulojännitealueet ovat turbiinin koosta riippuen joko 12 V, 24 V, 48 V tai 230 V. Pientuulivoimalaa suunniteltaessa ja hankittaessa pitäisi olla selvillä pientuulivoimalan käyttötapa tai se kuinka suurta sähköenergian tuotantotasoa halutaan tavoitella. Nämä asiat vaikuttavat olennaisesti tuulivoimalaan valittavan turbiinin teholliseen kokoon ja siten myös sähköjärjestelmän ulostulojännitetasoon. (STY [Viitattu 19.3.2014].)



Kuvio 28. Vaaka-akselisen pientuulivoimalan sekä sähköjärjestelmän rakenne (Pohjalta: Eklund 2011.)

Pientuulivoimalan sähkö- ja turvallisuusjärjestelmä (kuvio 28.) pitää lisäksi sisälleen suuren määrän erilaisia turva- ja ohjauslaitteita. Tuulivoimalan tuottama sähkö on yleensä epästabiilia ja sähkön laadussa esiintyy vaihtelua ja häiriöitä. Sähkössä esiintyvät vaihtelut ja häiriöt poistetaan sekä sähköstä tehdään tasalaatuista ja tietyn taajuista käyttämällä hyväksi tasasuuntaajaa. Tasasuunnattu sähkö syötetään seuraavaksi valitun käyttötavan mukaan invertterille tai lataussäätimelle. (Eklund 2011, 13.)

Lataussäädintä käytetään silloin, kun tuulivoimalan tuottoa varastoidaan akustoihin. Akustoihin normaalisti syötettävä ja varastoitava jännitetaso on 12 V tai 24 V. Lataussäätimen tehtävä on valvoa akustojen varauksen tilaa. Lataussäädin voi rajoittaa sähkölaitteiden toimintaa silloin, kun akustojen jännitetaso laskee liian alhaiselle tasolle. Vastaavasti, kun akustojen varaus on huipussaan, lataussäädin syöttää ylimääräistä energiaa valitulle keinokuormalle, jolloin akustoihin ei pääse syntymään ylilatausta. (Eklund 2011, 13.)

Invertterin tehtävä on muuttaa suoraan tuulivoimalasta tai nostaa vaihtoehtoisesti akustoista saatavat matalat jännitetasot 12 V tai 24 V käyttötavan mukaan halutuksi jännitetasoksi. Normaalisti kiinteistön omaan sähköpääkeskukseen ja sähköverkkoon kytkettäessä tuleva jännitetaso pitää olla 230 V ja taajuus 50 Hz. Tuulivoimalan kytkeminen kiinteistön omaan sähköverkkoon ja siitä yleiseen sähköverkkoon vaativat aina paikallisen verkonhaltijan luvan. Monissa tapauksissa verkonhaltijat ovat myös määritelleet laitteistot, joiden käyttö hyväksytään ja jotka mahdollistavat verkkoon kytkennän. (STY [Viitattu 19.3.2014].)

Kiinteistön omaan sähköverkkoon kytketty tuulivoimala syöttää sähkön kiinteistön omiin tarpeisiin. Jos tuulivoimalan tuotto ei riitä omiin tarpeisiin, sähköä ostetaan lisäksi paikallisesta sähköverkosta. Vastaavasti tilanteessa, jossa tuulivoimala tuottaa enemmän kuin kiinteistö kuluttaa, ylimääräinen sähkö voidaan syöttää paikalliseen sähköverkkoon. Useissa tapauksissa sähköyhtiöt eivät ole kuitenkaan valmiita maksamaan verkkoon syötetystä sähköstä. Kokeiluasteella on joidenkin sähköyhtiöiden alueella ollut ns. nettolaskutuskäytäntö. Nettolaskutus perustuu siihen, että verkkoon syötetty sähkö vähennetään käytetystä sähköstä, jolloin jäljelle jää vain todellisuudessa verkosta ostetun sähköenergian määrä. Nettolaskutuksen käyttö edellyttää kaksoismittauksen käyttämistä, jolloin voidaan luotettavas-

ti mittauksen kautta varmentaa verkkoon syötetyn sähköenergian määrä. (Eklund 2011, 13.)

Jos pientuulivoimalassa tulee häiriö tai jokin muu poikkeuksellinen tilanne, esimerkiksi tuulee liikaa, akustot ovat täynnä tai tuulivoimala putoaa syöttöverkosta, jolloin sähköä ei voida normaalisti tuottaa. Vika- tai poikkeustilanteessa pientuulivoimaloissa käytetään turvallisuussyistä varotoimena jarruvastusta, jonka tehtävänä on hidastaa tuulivoimalaa tai vaihtoehtoisesti jopa pysäyttää se. Jarruvastuksen toiminta perustuu siihen, että se kuluttaa tuulivoimalan tuottaman sähköenergian muuttaen sen hukkalämmöksi. (Eklund 2011, 13.)

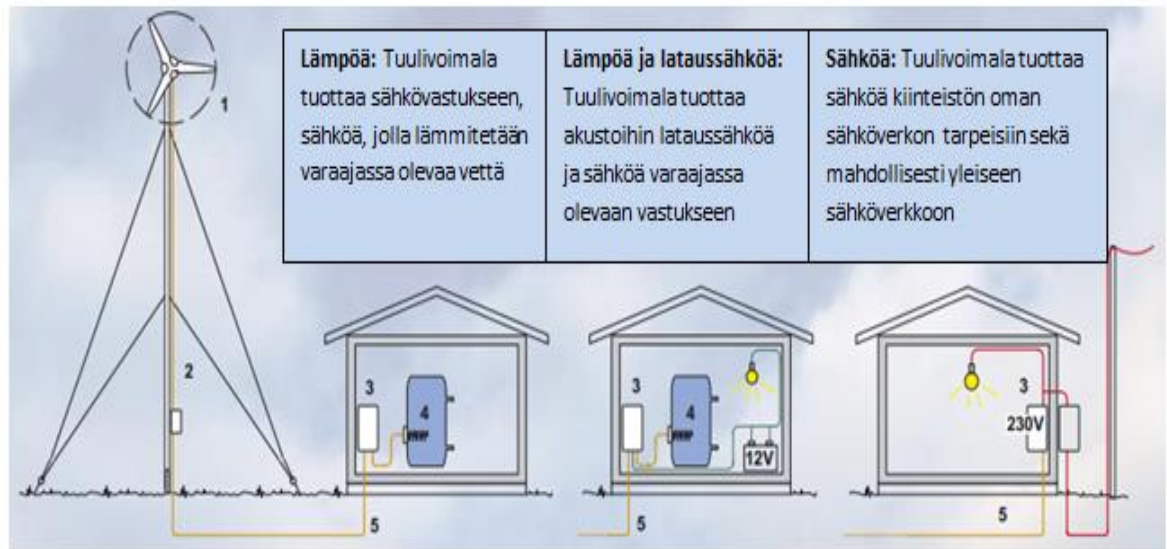
Invertterin tehtävä on toimia myös turvalaitteena. Invertteri seuraa ja vertailee jatkuvasti yleisen sähköverkon jännitetasoa sekä taajuuden muutoksia ja tahdistaa tuulivoimalasyötön yleiseen sähköverkkoon sopivaksi. Häiriötilanteessa, jossa yleinen sähköverkko katkeaa tai invertteri ei muuten pysty saamaan sähköverkon jännitetasoa ja taajuutta, tällöin invertteri automaattisesti katkaisee tuulivoimalan sähköntuoton verkkoon. Tällä automaattisella katkaisulla halutaan varmistua siitä, että yleinen sähköverkko on jännitteetön silloin, kun sitä mennään huoltamaan ja korjaamaan. (Eklund 2011, 13.)

Mikäli tuulivoimalan sähkönsyöttöön käytetään yksivaiheista invertteriä, Suomen Energiateollisuuden suositusten mukaan yksivaiheiseen syöttöön voidaan kytkeä maksimissaan 3,7 kW:n tehoinen tuulivoimala. Jos käytettävän tuulivoimalan turbiini on teholtaan suurempi, sähkönsyöttöön pitää käyttää sellaista invertteriä, joka mahdollistaa sähkönsyötön kolmeen vaiheeseen. (Eklund 2011, 13.)

Pientuulivoimaan voidaan hyödyntää periaatteessa kolmella eri käyttötavalla oman tarpeen ja käyttöolosuhteiden mukaan. Pientuulivoimalaa voidaan hyödyntää suoran sähköverkkokytken ja akustojen lataamisen lisäksi lämmittämään kiinteistön tarvitsemaa lämmintä vettä (kuvio 29). Tällöin tuulivoimala kytketään siten, että tuulivoimalan tuottama sähköenergia hyödynnetään lämminvesivaraajassa olevan sähkövastuksen tarpeisiin. (Eklund 2011, 14–15.)

Lisäksi on olemassa vaihtoehtoinen kytkentä, jossa käytetään tuulivoiman tuottama sähköenergia ensisijaisesti hyväksi akustojen lataussähköä. Mikäli akustojen

lataamisesta jää sähköenergiaa ylitse, toissijaisena hyödyntämistapana voidaan ylimääräinen sähkö hyödyntää sähkövastuksen kautta lämminvesivaraajassa.



Kuvio 29. Pientuulivoiman hyödyntämismahdollisuudet. (Pohjautuu lähteeseen: FinnWind 2014.)

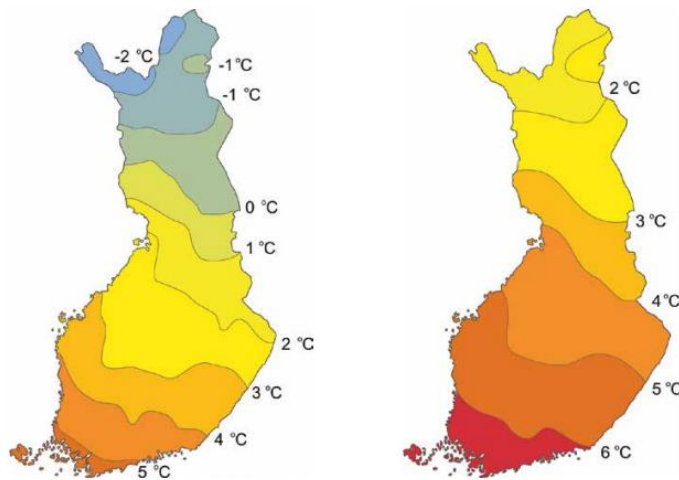
Vaihtoehtoisten ja monipuolisten hyödyntämismahdollisuuksien kautta pientuulivoima soveltuu käytettäväksi yhtä hyvin ns. saarekekohteisiin, kuin myös sellaisiin kohteisiin, joissa se kytketään suoraan olemassa olevaan sähköverkkoon. Sähköverkkoon kytketyllä tuulivoimalla voidaan nostaa sähkön omavaraisuusastetta sekä vaikuttaa ostettavan sähköenergian määrään. Saarekekäyttö- ja kesämökkikohteissa, joissa ulkopuolista sähköverkkoa ei ole saatavilla, tuulivoimalasta saatavaa sähköenergiaa varastoidaan akkuihin. Akustoihin voidaan akkujen koosta ja määrästä riippuen varata tietty määrä sähköenergiaa valaistuksen ja laitteiden käytettäväksi. Akustoilla pyritään takaamaan katkeamaton ja häiriötön sähkölaitteiden käyttö tuulettomissakin olosuhteissa. (Eklund 2011, 14–15.)

Mökeille ja vapaa-ajan asunnoille asennetut tuulivoimalat ovat pienimmillään vain muutamien satojen wattien tehoisia. Tämän kokoisissa tuulivoimaloissa turbiinin ulostulojännite on yleensä 12 V tai 24 V ja lapojen halkaisija on noin 2 metriä. Yleisimmin pientuulivoimaloissa käytettävien mastojen korkeudet vaihtelevat 5-30 metrin välillä. (STY [Viitattu 19.3.2014].)

## 8 MAALÄMPÖ

### 8.1 Määrittely

Maalämmöllä tarkoitetaan maan ja kallion pintakerrokseen varastoitunutta, auringon luovuttamaa lämpöenergiaa. Syvemmällä kallioperässä oleva lämpö on pääasias-  
sa radioaktiivisten aineiden aiheuttamaa geotermistä lämpöä. Suomen maa- ja  
kallioperän vuotuinen keskilämpötila vaihtelee alueittain maantieteellisen sijainnin  
mukaan, mutta pääosin se on noin kaksi astetta ilman vuotuista keskilämpötilaa  
korkeampi. Luonnontilaisessa ympäristössä pintakerrosten lämpötila voi olla useita  
asteita matalampi, kun sitä verrataan rakennetun ympäristön pintakerrosten läm-  
pötilaan. Etelä-Suomessa vakiintunut pintaosien keskilämpötila 15 metrin syvyy-  
dessä on noin 5–6 astetta. Syvemmälle mentäessä geoterminen lämpö nostaa  
keskilämpötilaan 0,5–1 astetta / 100 metriä. Tämän johdosta Etelä-Suomessa kal-  
lioperän keskimääräinen lämpötila 300 metrin syvyydessä on 6,5–9 astetta. (Juvo-  
nen & Lapinlampi, 2013 7.)



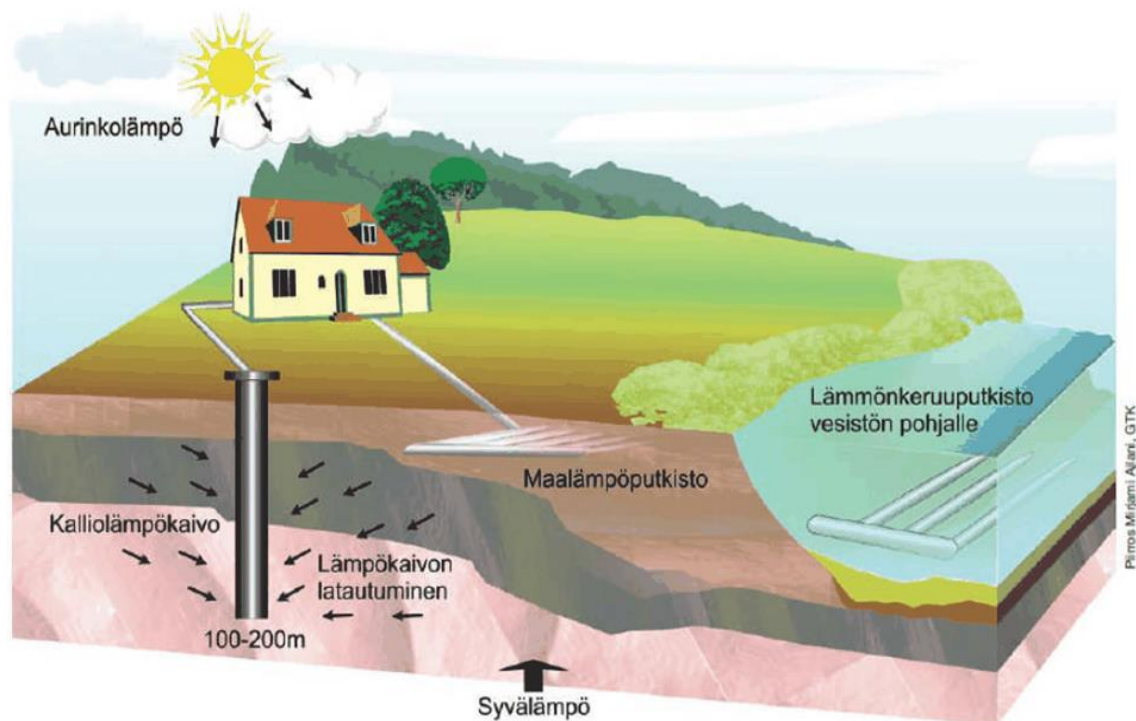
Kuvio 30. Vuotuiset ilman keskilämpö ja maaperän keskilämpö. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 7.)

Maaperän lämmönjohtavuuteen ja lämpöominaisuuksiin vaikuttavat eniten kallioperän koostumus, rikkonaisuus sekä mahdolliset pohjaveden virtaukset. Kallioperän rikkonaisuus sekä mahdolliset pohjaveden virtaukset tuovat maaperästä energiaa, jolloin lämmön siirtyminen tehostuu. (Juvonen & Lapinlampi, 2013 7.)

Maa- ja kallioperään sekä vesistöön sitoutunut energiapotentiaali perustuu siihen, että lämpötilat pysyvät reilun 10 metrin syvyydessä lähes muuttumattomina ympäri vuoden. Tästä syystä maalämpöä voidaan hyödyntää tehokkaasti ympäri vuoden. Vuodenajat ja varsinkin ilmasto eli auringonpaiste, sateet, ilman lämpötila, tuuli sekä ilmankosteus vaikuttavat maaperän pinnan lämpötilaan olennaisesti. (Motiva. 2012b.)

## 8.2 Maalämmön keruujärjestelmät

Maaperään varastoituneen lämmön lähteenä toimii ensisijaisesti maaperä ja kallioperä. Näiden lisäksi maaperään varastoitunutta lämpöä kerätään yleisesti myös vesistöistä ja vesistöjen sedimenttikerroksista. Auringon pintamaahan ja kallioon sekä vesistöön säteilyn, sateiden ja ilmavirtausten kautta luovuttamaa energiaa voidaan tehokkaasti kerätä talteen maaperään tai vesistöön asennettavien lämmönkeruupiirien sekä kallioon tehtävän porakaivon kautta. (Saimaa Gardens Services [Viitattu 9.4.2014].)



Kuvio 31. Maaperään varastoituneen maalämmön keruujärjestelmät. (Saimaa Gardens Services [Viitattu 9.4.2014].)

### 8.2.1 Maalämpöputkisto

Maaperään ja varsinkin maaperän pintaosiin auringosta varastoitunutta energiaa voidaan kerätä ja hyödyntää maahan vaakasuuntaan ja 0,7–1,2 metrin syvyyteen ja 1,5 metrin välein asennettavan keruupiirin eli keräysputkiston avulla.

Mitoitusta tehtäessä pitää huomioida paikalla vallitseva maalaji ja sen kosteus. Tämän lisäksi pitää huomioida, että pintamaan lämpötila vaihtelee jopa kymmenen astetta vallitsevan vuodenajan ja säätilan mukaan. Tämän johdosta vaakaputkistonjärjestelmä vaatii suunnittelua, että pystyttäisiin hyödyntämään maksimaalisesti pintamaan energia ympäri vuoden, myös silloin kun pintamaahan ei kohdistu auringon luovuttamaa energiaa. (Motiva 2012b.)

Keräysputkiston pituus määräytyy suoraan energiatarpeesta, joka maaperästä pitäisi keräyspiirillä avulla saada tuotettua. Keräysputkiston mitoituksessa putkiston pituus kannattaa ennemmin hieman ylittää, jolloin saadaan varmasti toimiva järjestelmä. Yhtenä keräysputkiston mitoitusperusteena käytetään lämmitettävän rakennuksen rakennuskuutioita. Yhtä rakennuskuutiota kohden tarvitaan 1–2 m putkea, joka taas tarvitsee 1,5 m<sup>2</sup> maa-alaa asennusta varten. Maapiirin asentamista varten kiinteistön tontin tulee olla riittävän suuri, lisäksi tontilla ei saa olla kaivuutyön esteitä ja tontin maaperän tulee muutenkin soveltua keruupiirin tarpeisiin. (Motiva 2012b.)

Maaperän rakenne, maantieteellinen sijainti Suomessa ja asennuspaikka vaikuttavat saatavaan energiamäärään sekä muutenkin keräyspiirin toimivuuteen. Kosteasta savimaasta saadaan hyödynnettyä enemmän lämpöä kuin kuivasta hiekka- maasta kuten taulukosta 1 voidaan päätellä. Vastaavasti taas kivinen routiva maaperä ei sovellu keräysputkiston asennuspaikaksi. (Saimaa Gardens Services [Vii- tattu 9.4.2014].)



Taulukko 1. Maaperän ja sijainnin vaikutus vaakaputkistolla saatavasta vuotuisesta lämpöenergiasta (Saimaa Gardens Services [Viitattu 9.4.2014].)

Sijainti	Vuotuinen lämpöenergia (kWh/m)	
	Savimaa	Hiekkamaa
Etelä-Suomi	50-60	30-40
Keski-Suomi	40-45	15-20
Pohjois-Suomi (ei Lappi)	30-35	0-10

Optimaalisin maaperä maalämmön keruupiirin rakentamiseen ja lämmönsaannin kannalta on kostea savimaa, jolla on hyvät lämmönjohtumisoiminaisuudet. Myös muista maalajeista on mahdollista saada maalämpöä talteen, mutta tällöin rakennettavan vaakaputkiston pituus sekä putkiston vaatima maa-alan koko kasvaa. (Saimaa Gardens Services [Viitattu 9.4.2014].)

Maantieteellinen sijainti vaikuttaa maaperän rakenteen lisäksi maaperän pintakerroksen energiamäärään olennaisesti. Parhaimmillaan Etelä-Suomessa on mahdollista saada maaperän pintakerrokseen asennettavalla vaakaputkistolla keskimääräinen määrä lämpöenergiaa yhden metrin matkalta Pohjois-Suomeen verrattuna. (Saimaa Gardens Services [Viitattu 9.4.2014].)

Maaperän pintakerroksen suurimpana lämmönlähteenä toimii auringon säteilyenergia, joka luovuttaa lämpöä maaperän pintakerrokseen. Tämän vuoksi on tärkeää, että aurinko pystyy paistamaan mahdollisimman tehokkaasti suoraan maaperään ilman häiriöitä. Tämän vuoksi pintakerrokseen asennetun vaakaputkiston kohdalta tulee estää kaikki auringonpaistetta rajoittavien esteiden, kuten rakennusten ja kasvillisuuden syntyminen. (Motiva 2012b.)

Maaperään asennettavan lämmönkeruuputkiston etuna voidaan pitää sen joustavia asennusvaihtoehtoja ja kustannustehokasta asennusta. Haittana voi olla suuri asennuspinta-alan tarve ja lisäksi kohtuullisen suuret kaivamisesta aiheutuvat kustannukset. (Motiva 2012b.)

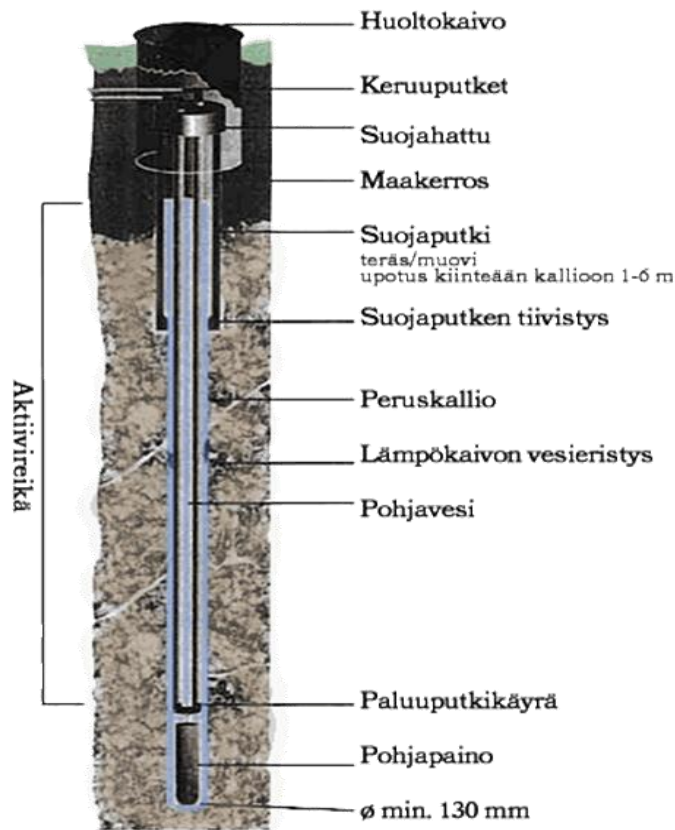
### 8.2.2 Kalliolämpö

Toinen ja yleisin tapa hyödyntää maassa olevaa lämpöenergiaa on porata maaperään pystysuuntainen kallioperään ulottuva porareikä. Tiheään asutulla taajama-alueella ja pienillä kiinteistön tonteilla porareikä on ainoa vaihtoehto hyödyntää maalämpöä. (Motiva 2012b.)

Porareiän etuna maaperään pintakerrokseen asennettaviin keruupiiriin ja vaakaputkistoon verrattuna on se, että porareiästä saatava lämpötila pysyy paljon stabiilimpana vaakaputkiston lämpötilaan nähden. Tämän vuoksi porareiän käyttö on energiatehokkaampaa ja porareiästä saadaankin parhaimmillaan energiaa kaksinkertainen määrä putkimetriä kohden. Tähän vaikuttaa olennaisesti se, että syvemmälle mentäessä maaperän oma geoterminen lämpö nousee tärkeämmäksi energialähteeksi. Tällöin auringon pintakerrokseen luovuttama säteilyenergian vaikutus sekä ilmaston ja vuodenaikojen vaikutus maaperän energiapotentiaaliin vähenevät. (Motiva 2012b.)

Syvämmällä kallioperässä oleva lämpöenergia kerätään porareikään asennettavan keruuputkiston avulla. Porakaivoa sekä siihen asennettavaa keruuputkistoa ja näihin olennaisesti kuuluvia rakenteita kutsutaan yleisesti energiakaivoksi tai lämpökaivoksi (kuvio 32). Pientalokiinteistöjen lämpökaivot ovat pääosin 100 - 200 metriä syviä ja maksimisyvyyskin on yleisesti 250 metriä. Lämpökaivon suositeltu minimihalkaisija on 130 mm, mutta tyypillisesti lämpökaivojen halkaisijat ovat 130...160 mm. (Motiva 2012b; Juvonen & Lapinlampi 2013.)

Lämpökaivon sisäosan rakenne koostuu yleensä suljetusta muovisesta keruuputkistosta, jossa kaksi pystysuoraa putkea on yhdistetty alaosastaan U-muotoisella putkella toisiinsa. Putket upotetaan lämpökaivoon U-muotoiseen putkeen kiinnitetyn painon avulla, joka pitää jatkossa keruuputkiston myös paikallaan. Itse keruuputkissa kiertää vaakaputkiston tapaan jäätymätön lämmönsiirtoliuos. Lämpökaivon lähellä maanpintaa olevat kaivon osat suojataan suojaputkella, jolla estetään irtonaisen maa-aineksen ja pintaveden kulkeutuminen kaivoon. Kaivon yläosaan asennetaan yleensä vielä huoltokaivo, jota kautta lämpökaivoa voidaan huoltaa. (Poratek 2009.)



Kuvio 32. Normaalin lämpökaivon rakenne. (Poratek 2009.)

Yleensä lämpökaivo täyttyy maaperästä tulevasta pohjavedestä, mutta mikäli lämpökaivo ei täyty itsestään, tällöin kaivo täytetään vedellä tiettyyn rajaan asti. Mahdollinen kaivon pohjaveden virtaama on energiatehokkuuden kannalta hyvä asia, koska tasalämpöinen pohjavesi tuo jatkuvasti kaivoon uutta lämpöenergiaa. (Poratek 2009.)

Lämpöenergian tarpeesta riippuen lämpökaivoja voidaan tarvittaessa porata useitakin pienelle maa-alueelle, jolloin pieneltäkin kiinteistön tontilta voidaan saada hyödynnettyä paljon lämpöenergiaa. Mikäli porakaivoja tarvitaan useampia kuin yksi, tulee ottaa huomioon, että porakaivojen välinen etäisyys pitää olla vähintään 15–20m. (Motiva 2012b.)

### 8.2.3 Vesistö

Vesi sitoo lämpöä hyvin, joten maaperän ohella myös järvet, meret ja lammet varastoivat suuria määriä auringon säteilyenergiaa suoraan sekä välillisesti sateiden ja ilmaston kautta. Vesistöissä olevaa lämpöenergiaa voidaan kerätä talteen veden pohjaan asennettavalla vaakasuuntaisella putkistolla, jossa kiertää jäätymätön lämmönsiirtoneste. Parhaimmassa tapauksessa vesistöistä voidaan ottaa talteen yhtä paljon lämpöenergiaa kuin mitä saadaan hyvästä porakaivosta. Vesistöissä oleva lämpöenergia on peräisin vedestä sekä vesistön pohjalla olevasta pohjasedimenttikerroksesta. (Motiva 2011.)

Rakenteeltaan vesistöihin asennettavat lämmönkeruupiirit ovat hyvin samanlaisia kuin mitä maaperään asennettavat putkistopiiritkin. Suurin ero on, että vesistöihin asennettavat putkistot täytyy ankkuroida tukevasti vesistön pohjaan ja pohjamuutaan käyttämällä hyväksi useita painoja. Ilman kunnollista putkiston ankkurointia vaarana on, että putkisto pääsee nousemaan, liikkumaan ja siten rikkoontumaan. Vesistöihin asennettavat putkistot täytyy merkitä huolellisesti, jotta pohjassa olevia putkistoja eivät vesistöjen käyttäjät tietämättään vahingoittaisi. (Motiva 2011.)

Toimiakseen vesistöihin asennettavat lämmönkeruupiirit tulee asentaa routarajan alapuolelle ja minimissään rannan lähellä 2 metrin ja mielellään yli 3 metrin syvyyteen. Lämpöhäviöiden pienentämiseksi vesirajasta lähtevä putkisto tulee lämpöeristää hyvin koko matkalta rakennukseen saakka. Johtuen veden hyvistä lämmönsiirto-ominaisuuksista, vesistöstä saatava lämpöenergia on 70–80 kWh yhtä putkimetriä kohti. Vesistöihin asennettava putkisto on huomattavasti maaperään asennettavaa putkistoa tehokkaampi. Vesistöön asennettavan putkiston pituus lasketaan ja mitoitetaan kuitenkin kostean savimaan energiapotentiaalin mukaan. (Motiva 2012b.)

## 9 LÄMPÖPUMPUT

### 9.1 Määritelmä

Toiminnaltaan ensimmäisiä ns. lämpöpumppusovelluksia käytettiin tuottamaan kylmää. Tämän vuoksi lämpöpumppujen toimintaa verrataankin yleensä jääkaapin toimintaan, jossa jääkaapin sisällä olevaa lämpöä siirretään pois ja luovutetaan ympäröivään huoneilmaan. Periaatteessa toiminnaltaan lämpöpumput ovatkin lämmityskäyttöön suunniteltuja kylmlaitteita. (Energia ja ekologiakäsikirja, 94.)

Kaikki lämpöpumppusovellukset perustuvat fysikaalisen thermodynamiikan perussäännön hyödyntämiseen, minkä mukaan lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan. Tällöin lämmönsiirtyminen tapahtuu aina korkeammasta lämpötilasta matalampaan, eli lämpimästä kylmään. (Lämpö ja energia [Viitattu 24.4.2014].)

Kiinteistöjen lämmitysteknisissä sovelluksissa lämpöpumpun toiminta yksikertaisesti perustuu siihen, että lämpöpumput hyödyntävät, lämmitettävän kiinteistön ulkopuolelta saatavissa olevaa uusiutuvaa energiaa. Lämpöpumput ovat laitteita, jotka pystyvät ottamaan hyötykäyttöön auringon maahan, ilmaan tai veteen luovuttamaa varastoitunutta lämpöenergiaa ja luovuttamaan sen kiinteistön tarpeisiin. (Motiva 2012b.)

Lämpöpumput voivat hyödyntää lämmön kiinteistön lämmitysjärjestelmän ja lämpimän käyttöveden tarpeisiin. Lämpöpumput siirtävät lämmön ilman tai veden välityksellä kiinteistön huoneilmaan. Lämpöpumput tarvitsevat toimiakseen sähköä siten, että ne tuottavat lämpöenergiaa moninkertaisesti enemmän kuin mitä sähköenergiana kuluttavat. Lämpöpumppujen tehokkuutta kuvataankin yleisesti lämpökertoimella eli COP-arvolla. Lämpökerroin kertoo, kuinka monta kilowattia lämpöä 1 kilowatin sähköteholla pystytään tuottamaan jossain tietyissä vakioolosuhteissa. Laitteiston lämpökerroin voidaan esimerkiksi ilmoittaa seuraavasti: COP 3 (+7), jolloin 7 °C vakiolämpötilassa 1 kW:n sähköteholla tuotetaan 3 kW:n edestä lämpötehoa. Lämpöpumpun käyttöolosuhteet eivät ole kuitenkaan vakiot, joten lämpöpumpun tuottama lämpökerroin ja lämpöpumpusta saatava hyötysuhde muuttuu olosuhteiden mukaan. (Energia ja ekologiakäsikirja, 94.)

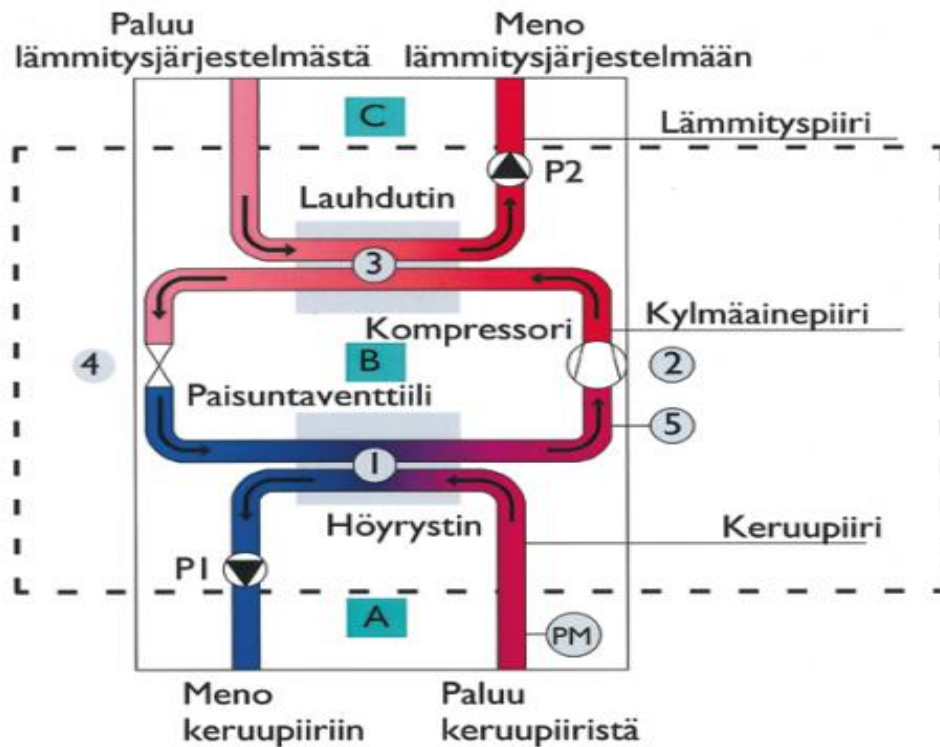
## 9.2 Lämpöpumppujärjestelmän toiminta

Lämpöpumppujärjestelmä voidaan yleisesti jakaa keruu-, kylmäaine-, ja lämmityspiiriin. Keruupiirin tehtävänä on kerätä keruupiiriin (maaperä, kallio, vesistö) nesteeseen lämpöpumpun tarvitsema ulkoinen lämpöenergia ja luovuttaa keruupiiriin nesteeseen varautunut lämpö höyrystimen kautta kylmäainepiiriin. Kylmäainepiiriin tehtävänä on hyödyntää keruupiiriin luovuttama lämpötilataso sekä nostaa mekaanisen tai sähköisen kompressorin avulla kylmäainepiiriin lämpötilaa ja tämän jälkeen luovuttaa höyrystimen kautta kohonnut lämpöenergia lämmityspiiriin. Lämmityspiiriin tehtävä on siirtää ja jakaa lämpöpumppujärjestelmän tuottama lämmitysteho kulloiseenkin tarpeeseen. (Motiva 2012b.)

## 9.3 Kompressorilämpöpumpun toiminta

Kompressorilämpöpumpun pääosat ovat höyrystin, kompressor, lauhdutin sekä paisuntaventtiili (paineenalennusventtiili). Näiden lisäksi kompressorilämpöpumppujärjestelmään kuuluvat olennaisesti pääosat toisiinsa yhdistävä putkisto, lämmönkeruupiiriin höyrystimeen lämmön johtava putkisto, kenno, lämmönvaihdin yms., lauhduttimesta lämmön siirtävä lämmityspiiriin putkisto sekä koko järjestelmää kontrolloiva ohjaus- ja säätöjärjestelmä. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12.)

Lämpöpumppujärjestelmän (kuvio 33) tekninen toiminta perustuu siihen, että välittäjäaineena toimiva alhaisessa lämpötilassa ja normaalipaineessa oleva nestemäinen kylmäaine kulkeutuu laitteen höyrystimeen (1). Siellä kylmäaineeseen sitoutuu lämpöä, jonka keruupiiriin neste lauhduttimessa luovuttaa. Höyrystimessä kylmäaineeseen sitoutunut lämpö saa nestemäisen kylmäaineen höyrystymään. Höyrystynyt kylmäaine (5) johdetaan sähköllä toimivalle kompressorille, missä lämmennyt ja höyrystynyt kylmäaine puristetaan korkeapaineiseksi kaasuksi. Tällöin sen lämpötila kohoaa voimakkaasti (2). (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12.)



Kuvio 33. Lämpöpumpun tekninen kokoonpano. (Juvonen & Lapinlampi 2013.)

Seuraavaksi kuuma kaasu johdetaan lauhduttimelle, jossa kaasu korkeassa paineessa luovuttaa lämpöenergian kiinteistön lämmitysjärjestelmään (3). Jäähdytyksään kaasuuntunut kylmäaine muuttuu takaisin nestemäiseen olomuotoon. Lämmitysjärjestelmään siirtynyttä lämpöä voidaan hyödyntää kiinteistön vesikiertoisessa lämmityspiirissä sekä lämpimän käyttöveden tuotannossa.

Lämpöpumpun paisuntaventtiilillä nestemäisen kylmäaineen painetta alennetaan, jolloin nesteen lämpötila laskee voimakkaasti (4). Tämän jälkeen jäähtynyt kylmäaine ohjataan takaisin höyrystimelle, missä kylmäaine on jälleen valmiina vastaanottamaan lämpöä ja aloittamaan koko lämpöpumppujärjestelmän kiertoprosessin uudelleen. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 12.)

#### 9.4 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumput ovat kiinteistön lämmittämiseen suunniteltuja kompressorilämpöpumppuja, jotka perustuvat suljetun kierron hyödyntämiseen. Maalämpöpum-

puissa energia otetaan talteen ja hyödynnetään suljetussa kierrossa käytetyn lämmönsiirtonesteen välityksellä. Maalämpöpumpulla otetaan talteen maa-, ja kallioperään sekä vesistöihin varastoitunutta lämpöenergiaa, joka siirretään yleensä energiavaraajaan. Sieltä se ohjataan kiinteistöjen ja ihmisten käyttöön. Teknisesti maalämpöpumppujen perustoiminta on verrattavissa kaikkien muiden lämpöpumppujen (ilmalämpöpumppu, vesi-ilmalämpöpumppu, poistoilmalämpöpumppu, yms.) toimintaan. Kaikkien lämpöpumppujen toimintaprosessien eteneminen on esitelty tarkemmin kappaleessa 8.2 (kompressorilämpöpumpun toiminta). Ainoa ero näillä lämpöpumpuilla on se, mistä ne keräävät lämpöpumpussa tuotettavan ja lämmitysjärjestelmissä hyödynnettävän lämpöenergian. Maalämpöpumpussa nimen mukaisesti lämmönkeruumenetelmänä käytetään maaperään, kallioperään tai vesistöön asennettavia lämpöputkistoja. (Motiva 2012b; (Juvonen & Lapinlampi 2013, 8–10.)

Maalämpöpumppu soveltuu hyvin sellaisiin kiinteistöihin ja käyttökohteisiin, joissa pystytään mahdollisimman paljon hyödyntämään matalalämpöistä vettä. Tämän johdosta maalämpöpumput soveltuvat erinomaisesti sellaisiin kohteisiin, joissa lämpöenergianjakotapana käytetään vesikiertoista lattialämmitystä. Maalämpö soveltuu käytettäväksi myös patteriverkoston kanssa, mutta vaatii tällöin tarkemman tarkastelun patteriverkoston soveltuvuudesta ja toimivuudesta. On mahdollista, että maalämmön kanssa käytetty matalampi veden lämpötila aiheuttaa ongelmia ja pakottaa mahdollisesti lisäämään patterien määrää tai muulla tavoin lisäämään patterien lämmityspinta-alaa. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 10.)

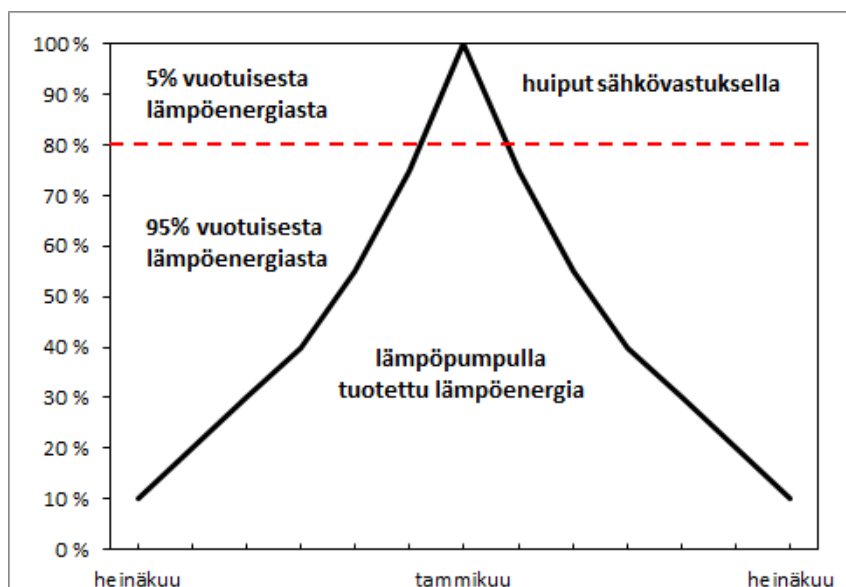
Maalämpöpumpusta saatava teho tai hyötysuhde on teoriassa aina suurempi kuin yksi. Maalämmön hyötysuhde on sitä parempi, mitä pienempi on lämmönkeruupiirin ja lämmityspiirin välinen lämpötilaero. Yleisesti maalämpöpumppujen vuosilämpökerroin eli hyötysuhde on noin 3. Veden lämpötilannosto heikentää hyötysuhdetta hyvinkin voimakkaasti eli mitä kuumempaa vettä lämpöpumpulla tuotetaan, sitä huonompi on lämpöpumpun hyötysuhde. (Motiva 2012b.)

Lämpöpumppua käytetään lämmityksen lisäksi myös lämpimän käyttöveden tuottamiseen. Lämpimän käyttöveden tuottamisessa pitää huomioida mahdollinen Legionella-bakteerin aiheuttama riski. Tämän johdosta lämpimän käyttöveden lämpötila on nostettava ajoittain yli +60 asteeseen, jotta mahdollinen Legionella-



bakteeri kuolee. Maalämpöpumppujen automatiikka huolehtii siitä, että käyttöveden lämpötila nostetaan riittävän korkealle. Tällöin voidaan varmistua siitä, ettei bakteeri aiheuta ongelmia. (Motiva 2012b.)

Maalämpöpumppujärjestelmä voidaan suunnitella ja mitoittaa kahdella eri tavalla; joko täysteholle tai osateholle. Jos pumppu mitoitetaan täydelle teholle, lämpöpumppu tuottaa kaiken kiinteistön tarvitseman lämmön ja käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan lämpöenergian ilman ulkoisen lisäenergian käyttöä. Täystehomitoitetulla lämpöpumpulla saavutetaan pienin sähköenergiankulutus, sekä mahdollistetaan pienempien pääsulakkeiden käyttö. Täysteholle mitoitettu järjestelmä vaatii toimiakseen pidemmän maapiirin tai syvemmän lämpökaivon sekä tehokkaamman lämpöpumpun. Nämä taas lisäävät huomattavasti maalämpöjärjestelmän hankintakustannuksia. (Motiva 2011.)

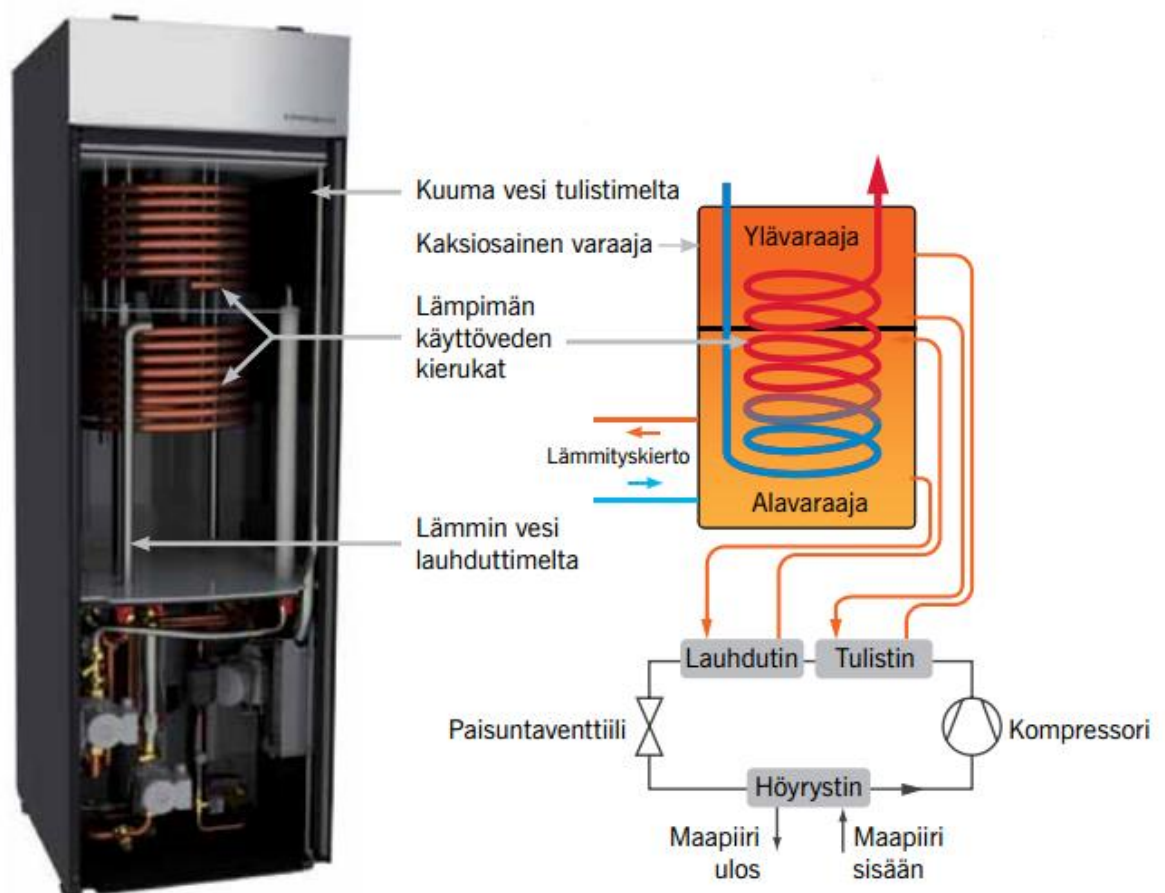


Kuvio 34. Osateholämpöpumpun vuotuisen lämpöenergian jakautuminen. (Pohjautuu, ST1 [Viitattu 24.4.2014].)

Osateholämpöpumppu mitoitetaan (kuvio 34) siten, että sillä katetaan 60–80 prosenttia lämmön ja lämpimän käyttöveden tarvitsemasta energiahuipusta, joka tulee vastaan kovilla pakkasilla. Jos lämpöpumppu mitoitetaan noin 80 prosenttiseksi huippuenergiatarpeesta, osateholämpöpumppu tuottaa koko vuotuisesta lämpöenergian tarpeesta noin 95 %. Puuttuva 5 % lämpöenergian tarve tuotetaan yleisesti käyttämällä hyväksi lämpöpumpussa tai varaajassa olevia sähkövastuksia.

Esimerkiksi, jos lämpöenergian kokonaisterve on 9 kW ja pumppu halutaan mitoittaa osateholle, hankitaan 7 kW:n pumppu, jolloin 2 kW lämpöenergian tarve tuotetaan sähkövastusten avulla. (Motiva 2012b; ST1 [Viitattu 24.4.2014].)

Maalämpöpumppujen perustekniikka ja lämmön tuotto toimii kaikilla lämpöpumpputyypeillä samanlaisen prosessin mukaan. Suurin ero eri laitteistojen kesken tulee esille lämpimän käyttöveden tuottamisessa. Kaikki markkinoilla olevat maalämpöjärjestelmät voidaan silti suunnitella ja toteuttaa joko osa- tai täystehomitoitukselle.



Kuvio 35. Tulistinpiiri, maalämpöpumpun rakenne ja toiminta. (Lämpöässä 2014.)

Joidenkin maalämpöpumppuvalmistajien malleissa normaalin lauhduttimen rinnalla käytetään tulistinpiiriä, jonka avulla nostetaan lämmin käyttövesi huippuunsa. Tulistinpiireillä varustetuilla lämpöpumpuilla (kuvio 35) lämmin käyttövesi tuotetaan ilman sähkövastuksia ympäri vuoden. Tulistinpiirillä varustetuissa laitteissa lämmitykseen menevä vesi ja esilämmitetty käyttövesi tuotetaan käyttämällä kaksiosais-

ta varaajaa, jossa on kaksi erillistä käyttövesikierukkaa. Varaajassa oleva vesi on kerrostunut lämpötilan mukaan ja erotettu vielä toisistaan kalvon avulla. (Lämpöässä 2014.)

Normaaliin maalämpöjärjestelmään verrattuna tulistinpiiri on lauhduttimen rinnalle asennettu ylimääräinen rinnakkainen lämmönvaihdin. Tulistinpiirillä hyödynnetään heti kompressorista tuleva todella kuuma höyrystynyt kylmäaine. Tulistinpiiristä saatu ns. kuumakaasu nostaa varaajan yläosassa olevan käyttövesikierukan avulla esilämmitetyn veden halutun lämpöiseksi käyttövedeksi. Tulistinpiirissä hieman jäähtynyt höyrystynyt kylmäaine ohjataan lauhduttimelle, missä se luovuttaa lopun lämpöenergian vesivaraajan alaosan käyttövesikierukassa. Tämän jälkeen höyry muuttuu taas nesteeksi. Tulistinlämpöpumpuissa on yleensä oma sisäinen integroitu varaaja, jonka sisällä on kaksi erillistä käyttövesikierukkaa käyttöveden lämmitykseen. Lämpöpumpun ja integroidun varaajan rinnalle on mahdollista kytkeä myös ulkoinen isompi energiavaraaja, jossa voidaan hyödyntää yhtä aikaa myös muita mahdollisia energialähteitä. (Motiva 2012b.)

Maalämpöjärjestelmä tulee asentaa sellaiseen tilaan, jossa pystytään helposti suorittamaan järjestelmän vaatimat huolto- ja kunnossapitotoimenpiteet. Maalämpöjärjestelmää suunniteltaessa ja hankittaessa pitää ottaa huomioon teknisen tilan vaatimukset. Teknisen tilan mitoituksessa tulee varata maalämpöpumpulle ja mahdollisesti myös ulkoiselle energiavaraajalle riittävästi tilaa. (Juvonen & Lapinlampi 2013, 10.)

#### **9.4.1 Ohjausjärjestelmä**

Maalämpöpumpuissa on omat ohjausjärjestelmät, joiden kautta pumpun toimintaa voidaan valvoa ja ohjata. Ohjainjärjestelmät ovat logiikkapohjaisia järjestelmiä, jotka on suunniteltu ja räätälöity nimenomaan kyseisen maalämpöpumpun ohjaamiseen. Perinteisissä ohjausjärjestelmissä valikoiden selaaminen, ohjaus sekä arvojen asettaminen ja muuttaminen tapahtuu ohjaimessa olevien muutaman näppäimen kautta.



Kuvio 36. Perinteinen lämpöpumpun ohjausyksikkö. (Lämpöässä 2014.)

Uudemman sukupolven ohjausjärjestelmissä ohjaus tapahtuu kosketusnäytön välityksellä, jossa arvojen asettaminen, muuttaminen sekä pumpun toiminnan seuraaminen tapahtuu näytössä olevien kuvakkeiden kautta. Uusien ohjausjärjestelmien kautta laitteiden perusohjaus sekä laitteiston optimointi omaan käyttöön sopivaksi on tehty mahdollisimman helposti ymmärrettäväksi ja vaivattomaksi.

Erään maalämpöpumppuvalmistajan ohjausjärjestelmän perustoiminnot (kuvio 37) on jaoteltu kahdeksan pääkohdan/kuvakkeen alle, jotka on esitelty kaksiosaisessa päävalikossa. Jokaisen pääkohdan alta aukeaa oma näyttösivu toimintoihin ja mahdollisine säätöineen. Päätoiminnot on jaoteltu (kuvio 37) mukaisesti. 1. kohdasta voidaan säätää hetkellisesti huoneiden lämpötilaa  $\pm 3$  astetta. 2. kuvakkeen alta voidaan hetkellisesti asettaa tehostettu käyttöveden tuotto päälle. 3. kohdassa voidaan määritellä ja säätää kotona/poissaoloarvot ja -ajat. Kohdan 4 mittauksista voidaan seurata lämpöpumpun toimintaa sekä tutkia kaikkien antureiden arvoja. Kohdassa 5 voidaan säätää varaajan tai lämmönjakopiirien lämpötilaa tiettyinä ajankohtina. (Lämpöässä 2014.)



Kuvio 37. Kosketusnäytöllisen ohjausjärjestelmän päätoiminnot. (Lämpöässä 2014.)

Kuvakkeen 6 alla on säätökäyrät kahdelle lämmityspiirille sekä käyttövedelle eli lämpimän veden arvoja voidaan säätää tietyissä ulkolämpötilaolosuhteissa. Varaajan asetuksista kohdassa 7 voidaan säätää kaksiosaisen varaajan ylä- ja alaosan lämpötilarajoja. Kohta 8 on mahdollisten lisäosien ohjaamiseen tarkoitettu sivu, jossa voidaan määritellä esimerkiksi aurinkokeräimen ohjausta. (Lämpöässä 2014.)

## 10 TUTKIMUSPROSESSI

### 10.1 Lähtökohdat

Opinnäytetyössä tehtävässä tutkimuksessa pyritään edistämään pientuotannon ja hybridilaitteistojen kehitystä tuomalla esiin eri energiantuotantovaihtoehtoja sekä niiden yhdistämistä teorian ja teknisen tarkastelun kautta. Tutkimuksessa pyritään kehittämään hybridiennergia ratkaisulaitteisto, jonka avulla voitaisiin tuottaa tarkasteltavan kiinteistön lämmitykseen tarvittava lämmin vesi sekä lämmin käyttövesi. Suunniteltuja loppukäyttäjiä, joiden tarpeiden mukaan teknisiä ratkaisuja lähdettiin analysoimaan, olivat energiantarpeeltaan pienessä mittakaavassa haja-asutusalueella sijaitsevat omakotitalot (rakentajat, talopakettitoimittajat). Keskisuurassa mittakaavassa tarkastelun kohteina olivat haja-asutusalueella sijaitsevat maatilat, maatalousyhtymät, kasvitarhat sekä pienet yritykset.

### 10.2 Asiantuntijatahot

Opinnäytetyössä suunniteltava ja kehitettävä hybridilämmitysjärjestelmä tulee olemaan kompleksinen ja laaja laitteistokokonaisuus. Hybridilämmitysjärjestelmä tulee koostumaan eri tuotantotapaan perustuvista erillisistä ja yksittäisistä energiantuotantolaitteistoista. Tämän lisäksi järjestelmä tulee pitämään sisällään näitä laitteistoja hallinnoivia erillisiä automaatio- ja ohjausjärjestelmiä. Tutkimuksessa käytettävien yksittäisten laitteiden ja ohjausjärjestelmien teknisen toiminnan, rakenteen, rajoitusten syvällinen ymmärtäminen vaatii erityisosaamista ja laitteistoihin liittyvää asiantuntijuutta.

Selvitystyö toteutettiin yhteistyössä muutamien asiantuntijatahojen kanssa, jotka olivat olleet aiemmin Thermopolis Oy:n kanssa yhteistyössä. Nämä asiantuntijat auttoivat teknisellä tietämyksellään sekä pystyivät vastaamaan esitettyihin kysymyksiin ja viemään selvitystyötä eteenpäin. Teknisen kartoituksen aikana selvisi kuitenkin, että selvitystyön onnistumisen kannalta oli tarpeen saada vielä muutamia asiantuntijoita taustatueksi. Yksi selvitystyön tavoitteista oli lisäksi luoda yhteistyöverkostoja ja auttaa suomalaisia alan yrityksiä kehittämään omaa toimin-

taansa. Tämän pohjalta kartoitettiin ensisijaisesti suomalaisia asiantuntijayrityksiä, jotka haluaisivat jakaa oman alansa teknisen tietämyksen.

Yritykset innostuivat heille esitellystä selvitystyöstä ja lopulta taustatukena oli joukko merkittäviä suomalaisia asiantuntijayrityksiä. Pientuulivoimaa koskeviin ratkaisuihin ja kysymyksiin antoivat apua FinnWind Oy, Darrox Oy ja AC Tower Company Oy. Aurinkoenergian aurinkokeräinasiantuntija-apua saatiin Savosolar Oy:ltä, joka on johtava Suomalainen aurinkokeräinten valmistaja. Savosolar Oy on saanut tunnusta maailmallakin innovatiivisista ja tehokkaista tuotteistaan. Aurinkopaneelien teknisten kysymysten osalta apua antoi FinnWind Oy, joka on johtava kotimainen pientuulivoimaloiden ja aurinkopaneelien toimittaja. Maalämpöön ja sen tekniikkaa koskeviin kysymyksiin asiantuntija-apua saatiin puolestaan Gebwell Oy:ltä, Oilon Home Oy:ltä sekä Lakeuden Ekolämpö Oy:ltä. Kaikilla maalämpöasiantuntijoilla on pitkä kokemus maalämpöpumppujen tekniikasta, kehittämisestä ja myynnistä. Ohjausjärjestelmään ja automatiikkaan liittyviin kysymyksiin hyviä neuvoja ja näkemystä tarjosi There Corporation Oy, jolla on vuosien kokemus kotitalouksien energiansäätöratkaisujen kehittäjä ja markkinoija.

Lakea Oy antoi kannustavaa palautetta tällaisen hybridilämmitysjärjestelmän tutkimisen ja hyödyntämisen suhteen. Lakealla on omakohtaista tietoa maalämmön ja aurinkokeräimien yhdistämisestä yhdeksi lämmityskokonaisuudeksi omissa kiinteistöissään. Vaasan yliopistolla on meneillään samansuuntainen hanke, jossa tutkitaan energian saarekekäyttöä ja siihen liittyviä toimintatapoja ja eri energiantuottovaihtoehtoja. Tämän asian tiimoilta Vaasan yliopiston ja VET:n edustajien kanssa pidettiin yhteinen palaveri hybridilämmitysjärjestelmään liittyen. Palaverissa käytiin lähinnä läpi sitä, miten tätä kysymystä on lähestytty ja millaisiin teknisiin ratkaisuihin ja vaihtoehtoihin tässä työssä on päädytty. Palaverin aikana esitettiin muutamia varteenotettavia kommentteja ja kysymyksiä, jotka koskivat tässä työssä tehtyjä teknisiä ratkaisumalleja. Palaverissa todettiin myös se, että tällaiselle tekniselle kehitystyölle on selkeä tilaus markkinoilla. Samalla todettiin, että tulevaisuudessa yhteisen hankkeen kautta voitaisiin tehdä myös tiiviimpää yhteistyötä ja kehittää järjestelmiä yhteisesti eteenpäin.

### 10.3 Tavoitteet

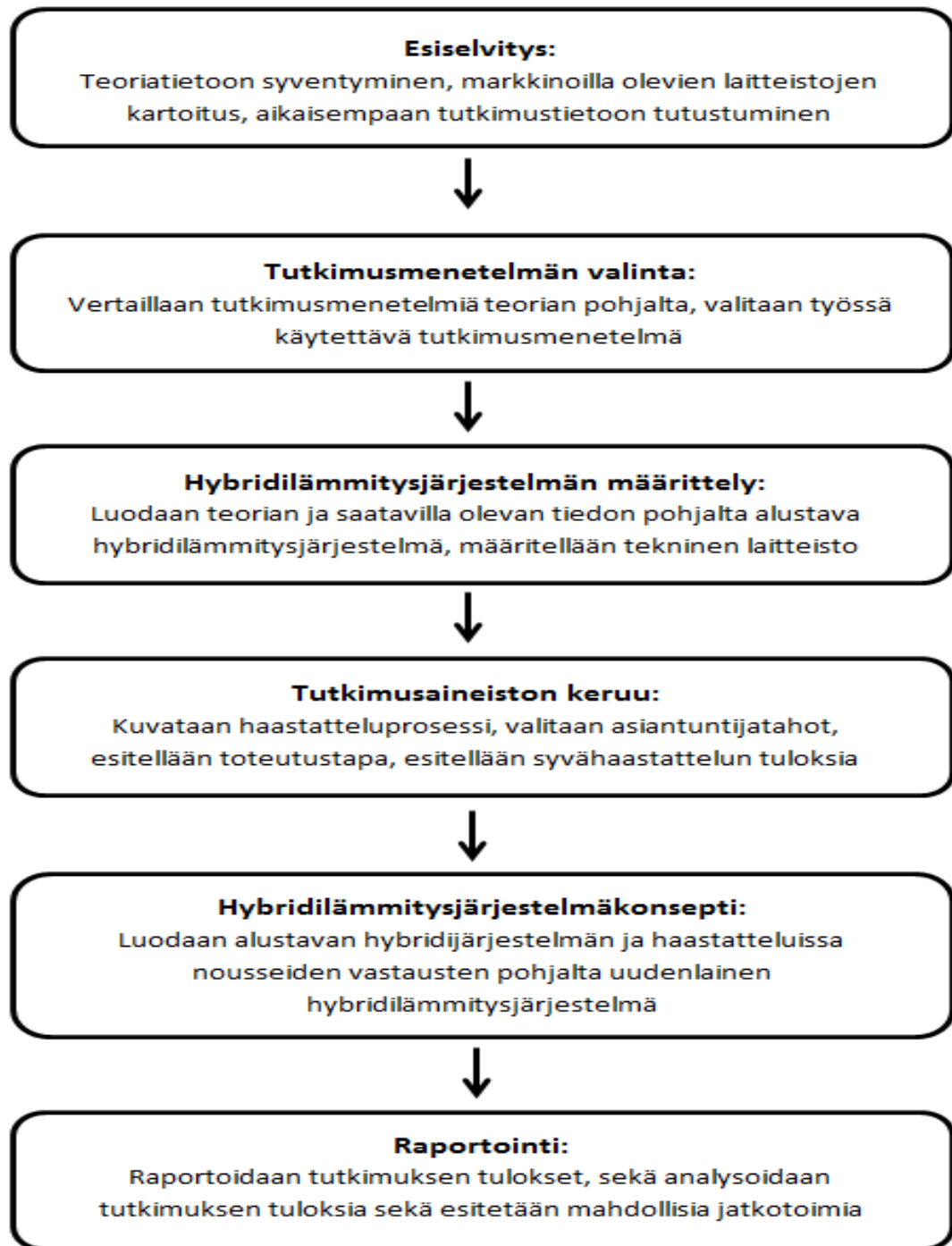
Tutkimuksen tavoitteena on kehittää ja ideoida lämmitysjärjestelmäksi teknisesti integroitu, toimiva ja helppokäyttöinen kokonaisratkaisu, jota hallinnoitaisiin tutkimuksessa kehiteltävällä uudentlaisella keskitetyllä automaatio- ja ohjausjärjestelmällä. Hybridilämmitysjärjestelmässä ensisijainen lämmöntuotanto tapahtuu maalämpöpumpulla, jota tuetaan mahdollisimman paljon aurinkokeräimistä saatavalla energialla. Lämmitysjärjestelmään kuuluvat laitteistot pyritään tekemään sähkön suhteen mahdollisimman omavaraisiksi tuottamalla laitteiston vaatima sähkö kiinteistön sähköverkkoon kytketyllä omalla tuulivoimalalla tai aurinkopaneeleilla.

### 10.4 Toteutus

Opinnäytetyössä tutkimus- ja selvitystyön prosessi on esiteltynä kuviossa 38. Teoriatiedon lisäksi opinnäytetyöhön etsittiin monista lähteistä erilaisia teknisiä ratkaisuja, joita oli toteutettu käyttämällä hyväksi maalämpöä, tuulivoimaa tai aurinkoenergiaa. Konkreettinen tutkimus aloitettiin erilaisiin teorialähteisiin tutustumisella ja syventymisellä. Esiselvityksen jälkeen vertailtiin ja valittiin tutkimukseen soveltuva tutkimusmenetelmä, jonka kautta tutkimusta lähdettiin viemään eteenpäin. Teorian ja teknisen materiaalin lisäksi kartoitettiin yhteistyö- ja asiantuntijatahoja, joilla olisi tietämystä ja kokemusta aurinkoenergiasta, maalämmöstä, tuulivoimasta tai automaatiojärjestelmistä. Teoria-aineiston ja teknisten taustatietojen kartoittamisen jälkeen laadittiin ensimmäinen suunnitelma teknisestä hybridilämmitysjärjestelmästä, jota käsitellään tarkemmin luvussa 12.

Suunnitelman ja kehitysidean jalostamisen aikana eteen tuli kysymyksiä, jotka koskivat eri laitteiden teknisiä osa-alueita, vaatimuksia ja määrittämiä. Näihin teknisiin kysymyksiin ja muihin hybridilaitteistoa koskeviin kysymyksiin haettiin myöhemmin vastauksia suoraan henkilökohtaisten asiantuntijahaastatteluiden kautta.





Kuvio 38. Opinnäytetyön tutkimusprosessi.

Suunniteltujen kohdennettujen syvähaasteluiden avulla oli tarkoitus selvittää mm., miten eri laitteistot tällä hetkellä toimivat teknisesti erillisinä yksiköinä ja onko erillisissä laitteissa teknisiä rajoituksia, jotka estäisivät niiden yhdistämisen yhdeksi laitteistokokonaisuudeksi. Lisäksi selvitettiin, millaisia ohjausjärjestelmiä tai ohjainlaitteita käytetään esim. maalämpöpumpuissa, voidaanko maalämpöpumpun oh-

jaukseen tai automaatioon kytkeä esim. aurinkokeräinten ohjausta ja jos, miten hyvin se toimisi. Edelleen oli selvitettävä, voidaanko maalämpöpumppua, aurinkokeräintä ja tuulivoimaa ohjata yhteisellä ohjainlaitteella tai onko olemassa teknisiä rajoituksia. Niin ikään tarkastelun alla oli, onko maalämpöpumpun ja aurinkokeräimen kannalta teknisiä rajoituksia, jos järjestelmän vaatima sähkö tuotetaan optimaalisesti tuuli- tai aurinkovoimalla aina, kun sitä on saatavilla ja muulloin sähkö otetaan verkosta.

#### **10.4.1 Haastattelut**

Haastattelujen tarkoituksena oli selvittää, olisiko kyseinen hybridilämmitysjärjestelmä (kuvio 39) järkevä ja todellinen vaihtoehto ja olisiko se teknisesti toteutettavissa.

Haastatteluissa osa kysymyksistä oli tietysti vain kyseiselle asiantuntijataholle tarkoitettuja spesifisiä kysymyksiä koskien yksittäisen laitteen teknistä toimintaa tai toiminnan kannalta välttämättömiä komponentteja. Näiden lisäksi kysyttiin myös sellaisia kysymyksiä, jotka oli tarkoitettu kaikille esitettäväksi ja koskivat hybridienergiajärjestelmää yleisemmällä tasolla. Haastatteluun osallistuneet asiantuntijat sekä heille esitetyt kysymykset on esitelty tarkemmin opinnäytetyön liitteissä.

#### **10.5 Tulokset**

Yleisesti haastatteluissa tuli esille mm. laitteiston mahdollisuudet, markkinat ja se, että tällaisia keskitetyllä ohjausjärjestelmällä toteutettua yhdistelmälaitteistoa ei ole kaupallisesti olemassa. Teknisesti tarkasteltuna tällaiselle hybridille ei ole olemassa mitään esteitä tai suurempia rajoituksia, joiden vuoksi tällaista ratkaisua ei voitaisi teknisesti toteuttaa. Tällaiset valmistajilta haastatteluiden kautta saadut viestit olivat tutkimuksen kokonaisuuden kannalta hyvinkin rohkaisevia.

Kaikkien haastateltujen kommenttien perusteella tällaiselle hybridienergiajärjestelmälle tulee varmasti tulevaisuudessa olemaan kysyntää. Jo nyt myydään jonkin verran maa- ja aurinkolämmön yhdistelmiä ja kysyntä tällaisille yhdistelmille on

kasvamassa. Haastateltavien mukaan kuluttajat ovat yhä enemmän kiinnostuneita vaihtoehtoisista energiajärjestelmistä sekä ottavat enemmän selvää markkinoilla olevasta tarjonnasta. Ihmiset ovat alkaneet kiinnittää yhä enemmän huomiota ilmastoon ja ympäristön hyvinvointiin sekä uusiutuvien energioiden tarjoamaan mahdollisuuteen.

Maalämpöpumput, aurinkokeräimet ja ohjausjärjestelmä eivät ota kantaa siihen, millä järjestelmään toimitetaan sähköä, kunhan se on häiriötöntä ja tasalaatuista. Tämän vuoksi tuulivoimalla ja aurinkopaneeleilla tulee olemaan tulevaisuudessa merkittävä rooli juuri tällaisissa yhdistetyissä energiaratkaisuissa. Näiden asioiden valossa pientuulivoiman ja aurinkopaneelien merkitys tulee kasvamaan nimenomaan hajautetun ja paikallisesti tuotetun energian osalta merkittävästi. Yhdeksi tarkastelun kohteeksi nousi suurempien ja isompien kohteiden energiatuotantolaitteistojen suunnittelu, jossa tullaan käyttämään hyväksi lämpökeskusajattelua. Energia tuotetaan monilla eri laitteistoilla lähellä keskitetysti ja toimitetaan sen jälkeen lämpökeskukseen liittyneiden asiakkaiden käyttöön.

Tulevaisuudessa rakennusten vesikiertoiset lämmitysjärjestelmät hyödyntävät yhä enemmän matalalämpöistä vettä, jolloin tällaisen hybridijärjestelmän edut ja hyötysuhde tulevat paremmin esille.

Tulevaisuuden hybridilaitteistolla pitäisi ensisijaisesti pyrkiä hyödyntämään mahdollisimman tehokkaasti saatavissa oleva ilmainen energia aurinkokeräimiä, aurinkopaneeleja sekä tuulivoimaa käyttämällä. Mikäli ilmainen energia ei riitä, vasta sen jälkeen hyödynnetään maksullista energiaa.

Haastatteluissa tuli selkeästi esille kaikilta tahoilta se, että hybridiä, jossa ulkoisella ohjausjärjestelmällä ja automaatiolla yhdistetään maalämpö, aurinkolämpö ja tuulivoima yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi, ei ole vielä markkinoilla. Näin ollen tästä voidaan päätellä, että markkinat ja mahdollisuus liiketoiminnalle ovat olemassa.

Asiantuntijoiden kommenttien perusteella tuli esille selkeästi se, että kriittisin, kiinnostavin ja tutkimuksen kannalta olennaisin osa tulee olemaan ohjausjärjestelmän ja automaation määrittely, suunnittelu, toteutus, testaus sekä mahdollinen tuotteistaminen.

Asiantuntijoiden lausuntojen mukaan laitteistojen nykyiset ohjausjärjestelmät optimoivat ja ohjaavat pääasiassa vain isäntälaitteen toimintaa. Haastatteluhetkellä joistakin maalämpölaitteistojen automaatiosta löytyi ohjausmahdollisuus esimerkiksi aurinkokeräimille. Aurinkokeräimen ja tuotannon optimointi maalämpölaitteiston automaatiolla ei ollut kuitenkaan mahdollista toteuttaa. Hyvin selväksi tuli monenkin vastauksen osalta, että laitteistojen yhteisten ohjausjärjestelmien osalta olisi paljon kehitettävää.

Asiantuntijoiden kommenttien perusteella ohjausjärjestelmän kehittämiseen tulee varmasti jatkossa enemmän painetta omien laitteiden ohjausjärjestelmien ja nimenomaan ulkoisten laitteiden ohjauksen ja ulkoisten mittausten osalta.

Hybridilaitteisto koettiin negatiivisesti sen vuoksi, että tällaisen järjestelmän toiminta ja uudenlaisen sovelluksen käyttöä pitäisi pystyä testaamaan käytännössä. Asukkaat ja markkinat vaativat perustelut hyödyistä ja mahdollisista säästöistä.

Keskusteluiden perusteella tuli esiin myös asioita, joita pitäisi huomioida. Mikäli lämpimän veden käyttö on suurta ja veden lämpötila on korkea, tällöin hybridilaitteiston hyötysuhde putoaa merkittävästi, eikä sen käyttö ja hankinta ei ole enää taloudellisesti perusteltua.

Maalämpöpumppuasiantuntija suhtautui hieman epäilevästi pörssisähkön hintaan ja säätietojen ennustamisen kautta suoritettavien laitteistojen ohjaamiseen liittyviin hyötyihin. Asiantuntijan epäilyksen mukaan varastoitavan veden korkean lämpötilan vuoksi energian tuottaminen varastoon huonontaa laitteiston kokonaishyötysuhdetta merkittävästi. Esitetyn epäilyksen mukaan halvan pörssisähkön hyödyntämisestä saatava etu todennäköisesti kuihtuu olemattomiin, kun sitä verrataan laitteiston hyötysuhteen kanssa.

## 10.6 Yhteenveto

Tutkimusprosessin suunnittelu ja luominen sekä tutkimusmenetelmien vertailu ja valinta olivat haastava työvaihe toteuttaa. Tutkimusprosessin menestyksekkäs läpivienti sekä oikean tutkimusmenetelmän valinta olivat merkittävässä asemassa tutkimustyön lopputuloksen kannalta. Tutkimusprosessin hahmottaminen ja luonti

auttoivat ymmärtämään, kuinka keskeisessä asemassa tutkimuksen lopputuloksen kannalta ovat myös hyvin valittujen tutkimusongelmaan liittyvien tutkimuskysymykset sekä niiden asettelu. Tutkimuksessa pystyttiin hyvin löytämään ja saamaan vastaukset kappaleessa 1.2 esitettyihin tutkimuskysymyksiin.

Valittu tutkimusmenetelmä sekä tiedonkeruutapana käytetyt syvähaastattelut osoittautuivat onnistuneeksi valinnaksi. Haastatteluiden kautta saatiin hankittua tarvittavat tekniset tiedot, joiden kautta pystyttiin luomaan teknisesti pätevä hybridi-lämmitysjärjestelmän konsepti malli. Strukturoimattomien haastattelujen ja luontevien vuorovaikutustilanteiden kautta haastatteluissa nousi esille myös tärkeitä asioita ja kysymyksiä, joita ei teknisen laitteiston alustavassa määrittelyssä ja teknisten kysymysten laadinnan yhteydessä tullut esille. Haastatteluissa nousi esiin myös lukuisia muita mielenkiintoisia teknisiä yksityiskohtia, joita on hyvä tietää, mutta jotka eivät suoraan vaikuttaneet tutkimuskohteena olevan laitteiston tekniseen määrittelyyn.

Kokonaisuutena teoratiedon sekä syvällisemmän haastattelutiedon hankinta onnistuivat tutkimuksen toteutuksen kannalta hyvin. Pirstaleisen ja laajan teorian sekä haastatteluihin pohjautuvan analysoinnin kautta onnistuttiin lopulta rakentamaan uskottava ja onnistunut hybridilämmitysjärjestelmäkonsepti.

## 11 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY

### 11.1 Tekniset lähtökohdat

Merkittävästi tarkastelua rajoittavaksi tekijäksi nousi tuulivoima ja siihen liittyvien laitteistojen rakentamiseen ja hyödyntämiseen liittyvät negatiiviset asenteet. Samalla määrittelyvaiheessa nousi mahdolliseksi ongelmaksi myös kuntien soveltama kirjava lainsäädäntö ja lupakäytäntö sekä muu tuulivoimaan liittyvä byrokratia. Näiden asioiden vuoksi päätettiin, että hybridilämmitysjärjestelmäratkaisua tul-laankin ainakin tässä vaiheessa soveltamaan vain kaava-alueiden ulkopuolella.

Tutkimuksen lähtökohdaksi asetettiin tietyt vaatimukset laitteistojen suhteen. Määrittelyn mukaan tarvittava lämmin vesi tullaan tuottamaan hyödyntämällä maalämpöä ja aurinkokeräimiä. Vastaavasti määriteltiin, että tuulivoiman tai vaihtoehtoisesti aurinkopaneelien ensisijainen tehtävä olisi tuottaa hybridienergialaitteiston vaatima sähköenergia. Samalla todettiin, että mahdollisuuksien ja tarpeen mukaan voitaisiin tuottaa mahdollisimman kattavasti myös muu kiinteistön vaatima sähköenergia.

Tavoitteiden määrittelyssä todettiin myös, että näiden laitteistojen yhdistäminen yhdeksi optimaalisesti toimivaksi laitteeksi vaatii ulkoista ohjausjärjestelmää ja järjestelmään liitettyä automaatiota. Tämän vuoksi yhdeksi tutkimuksen keskeiseksi tavoitteeksi tulikin ulkoisen ohjauslaitteen tekninen määrittely. Ohjausjärjestelmän analysoinnin ja määrittelyn lähtökohtana oli myös se, että määrittelyn tuloksena syntyvän ohjausjärjestelmän pitäisi olla laitteistosta riippumaton, jolloin siihen voitaisiin kytkeä rajoituksetta minkä tahansa valmistajan maalämpö-, aurinkokeräin-, aurinkopaneeli- tai tuulivoimalaitteistoja.

Tämän tutkimuksen tuloksena syntyvä suuntaa-antava tekninen konsepti määrittelee tietyjä teknisiä linjauksia ja yksityiskohtia. Tätä teknistä konseptia olisi mahdollista jatkossa käyttää pohjana, jos halutaan selvityksen osalta edetä seuraavaan vaiheeseen. Seuraavassa vaiheessa olisi sitten mahdollista kartoittaa ja selvittää tarkemmin konseptin kilpailukykyä, kustannustehokkuutta ja kaupallistamismahdollisuuksia.

## 11.2 Maalämpöpumppu

Maalämpöpumppua käytetään tässä laitteistossa ensisijaisena energialähteenä, jonka tavoitteena on tuottaa lämmityksessä käytettävä vesi ja osa lämpimästä käyttövedestä. Maalämpöpumppujen valintaa pääenergalähteeksi puolsivat seuraavat seikat:

- Maalämmössä on alhaiset käyttö- ja huoltokustannukset.
- Nykyään hyötysuhteet (lämpökertoimet) ovat suhteellisen hyvät.
- Se voidaan asentaa helposti uusiin sekä myös olemassa oleviin vesikiertoi-  
siin lämmitysratkaisuihin.
- Markkinoilta löytyy kattava valikoima valmistajia ja tuotteita moneen eri  
käyttötarpeeseen.
- Tulistuksen avulla käyttöveden lämpötilaa voidaan nostaa 60–70 asteiseksi.
- Maapiirissä käytettyä nestettä voidaan käyttää myös jäähdytykseen.

(Motiva 2012b.)

## 11.3 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimillä on varsinkin touko- ja syyskuun välisellä ajalla suuri merkitys lämpimän käyttöveden tuottamisessa. Tässä teknisessä tarkastelussa ja esimer-  
keissä tullaan keräimien osalta käsittelemään tässä vaiheessa tasokeräimiä. Pe-  
rustelut vain tasokeräimien käyttämisestä pohjautuu arvioihin laitteiston parem-  
masta soveltuvuudesta Suomen vaihteleviin olosuhteisiin.

Tavoitteena on mitoittaa aurinkokeräimet siten, että touko- ja syyskuun välisenä  
aikana niillä pystyttäisiin kattamaan suurelta osin lämpimän käyttöveden tarve.  
Tavoitteena on pyrkiä hyödyntämään aurinkokeräimistä saatavaa energiaa myös  
laajemmin ja pidemmän aikaa vuodessa. Aurinkokeräimistä saadaan pienempiä  
määriä energiaa loppusyksystä ja aikaisin keväällä, kun aurinko paistaa vähem-  
män tai hyvin epäsäännöllisesti. Tänä aikana energiamäärät eivät riitä suoraan

lämmittämään varaajassa olevaa vettä. Tämän vuoksi aurinkokeräimistä saatavaa pientä ja hyvin epäsäännöllistä lämpöenergiaa pitäisikin hyödyntää maapiiristä tulevan keräysnesteen lämmittämiseen. Maapiirin keräysnesteeseen varautunut aurinkokeräimien tuottamat pienet lämpömäärät otetaan maalämpöpumpun höyrystimellä talteen ja hyödynnetään normaalin lämmöntuottoprosessin yhteydessä. Yleisesti voidaan ajatella, että maalämpöpumpun höyrystimelle tulevan keräysnesteen 1 °C lämpötilan nousu parantaa maalämpöpumpun hyötysuhdetta noin 3 %.

#### **11.4 Aurinkopaneelit**

Aurinkopaneelit pystyvät tuottamaan sähköä jo aikaisin keväällä sekä myöhään syksyllä, hyvällä hyötysuhteella. Tämän vuoksi paneelit mitoitetaan ja suunnataan niin, että niillä pystyttäisiin tuottamaan sähköä mahdollisimman pitkään ja siten, että niillä saataisiin tuotettua sähköä myös hyvin lyhyistä ja epäsäännöllisistä auringonpaisteista. Aurinkopaneelit mitoitetaan siten, että niillä pystyttäisiin tuottamaan mahdollisimman pitkälle maalämpöpumpun tarvitsema sähköenergia. Aurinkopaneelien käyttö antaa hybridilaitteistolle mahdollisuuden hyödyntää sitä myös taajama-alueilla, koska aurinkopaneelien asennus ja käyttö on mahdollista myös taajama-alueilla toisin kun tuulivoiman käyttö. Tarvittavan aurinkopaneelijärjestelmän koko voisi olla noin 3–5 kW, joka sitten liitettäisiin kolmivaiheinvertterin kautta kiinteistön sähköverkkoon. Vastaavasti, jos aurinkopaneelien tuotto ylittää kulutuksen ja sähköä jää ylitse, niin tällöin pitäisi olla mahdollisuus syöttää ylimääräinen sähkö verkkoon mahdollisen nettolaskutusopimuksen kautta.

#### **11.5 Tuulivoima**

Tässä tutkimuksessa keskitytään pientuulivoiman soveltamiseen, jonka määritelmä on hyvinkin laaja alkaen muutamasta kW:sta ja päättyen 50 kW:iin asti. Pientuulivoimaloiden jännitetaso tässä määrittelyssä on 230 V ja ulostulo kytketään joko yksi- tai kolmivaiheiseksi. Tässä kartoituksessa tuulivoima jaettiin kahteen eri kokoluokkaan (omakotitalo ja maatila) käyttökohteen ja tarpeen mukaan. Pienet noin 3,6 kW kokoiset voimalat ajattelimme sopivan hyvin omakotitalokäyttöön.



Omakotitalokäyttöön oli lisäksi tarjolla kahta eri rakennevaihtoehtoa perinteisestä vaaka-akselimallista pystyakselimalliseen ratkaisuun.

Isommat noin 5–50 kW kokoluokan turbiiniratkaisut soveltuvat esim. maatalan tai kasvitarhan tarpeisiin. Tavoitteena on, että voimalan koosta riippumatta tuulivoimalalla voitaisiin kattaa mahdollisimman suuri osa kohteen sähköntarpeesta. Lisäksi tavoitteena on se, että voimalakoosta riippumatta se voitaisiin kytkeä suoraan kiinteistön omaan sähköverkkoon, jolloin sähkö voitaisiin hyödyntää myös muussa käytössä kuin pelkästään hybridilämmityslaitteessa. Verkkoon kytkentä mahdollistaa lisäksi myös ylimääräisen sähkön verkkoon syöttämisen. Tämä taas mahdollistaa tulevaisuudessa nettolaskutuksen ja jopa sähkön myymisen, mikä tällä hetkellä on hyvin harvinaista.

### **11.6 Hybridivaraaja**

Hybridivaraajan merkitys on yleensä lämmitysjärjestelmiä suunniteltaessa ja rakennettaessa hyvinkin suuri. Varaajan mitoituksella voidaan merkittävästi vaikuttaa koko järjestelmän toimivuuteen ja siten myös tehokkuuteen. Vaatimukset varaajan osalta ovat tarkastelun alussa, että varaajassa pitää olla vähintäänkin yksi kierukka, johon aurinkokeräimet voidaan kytkeä. Lisäksi laitteistossa pitää olla teknisesti sellainen kytkentämahdollisuus, jossa voidaan erikseen omien kierukoiden kautta varaajassa hyödyntää tulistimelta ja lauhduttimelta tulevaa lämpöä. Tulistinta käytetään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen ja lauhduttimelta saatavaa lämpöä käytetään pääasiassa lämmitysjärjestelmän tarpeisiin.

### **11.7 Ohjausjärjestelmä**

Laitteiston käytettävyyden ja toimivuuden kannalta ohjausjärjestelmä on keskeisessä asemassa. Sen vuoksi ohjausjärjestelmän kokonaisvaltainen ja kattava määrittely suunnitteluvaiheessa on tärkeää lopputuloksen kannalta katsottuna. Määrittelyvaiheessa pitää tarkkaan miettiä, mitkä tiedot ja ohjaukset ovat olennaisia ohjauksen ja koko järjestelmän toiminnan kannalta sekä mitä tietoja ja suureita kannattaa mistäkin laitteistoista mitata. Pitää pystyä päättämään ja määrittele-

mään, mitkä ovat oleellisimmat ja tärkeimmät mitattavat kohteet, joiden avulla to-  
teutetaan mahdollisimman toimiva ja optimaalinen kokonaisratkaisu. Valitut turhat  
mittauspisteet lisäävät analysoitavan mittausdatan määrää sekä kuormittavat jär-  
jestelmää ja tekevät siitä monimutkaisen ja haavoittuvasen.

Hybridijärjestelmän kokonaisuutta hallitsevan keskitetyn ohjausjärjestelmän ja oh-  
jainlaitteen tulee olla helppokäyttöinen ja samalla monipuolinen sekä laajennetta-  
vissa oleva. Ohjausjärjestelmän pitää sisältää älyä siinä määrin, että se pystyisi  
joka tilanteessa mittaustietojen perusteella päättämään oikean energiantarpeen  
sekä sen, millä tavalla energia on kulloinkin taloudellisesti järkevin tuottaa.

## **12 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄN SUUNNITELMA**

### **12.1 Teknisten ratkaisujen kartoitus**

Aluksi tutustuttiin tarkemmin valittuihin energiantuotantotapoihin ja niiden sisältämiin tekniikoihin ja laitteistoihin. Tietty aika meni laitteiston hahmottamiseen, miten eri laitteistot periaatteellisella tasolla toimivat ja millaisista eri komponenteista ne pääosin koostuvat. Tässä vaiheessa myös selvisi se, että tarvitaan tueksi yrityksiä, joilla on osaaminen näihin laitteisiin, ja joilta löytyvät tarvittaessa vastaukset tekniisiin kysymyksiin. Teknisiltä pääpiirteiltään lämmitysjärjestelmä tulee sisältämään maalämpöpumpun ja siihen kuuluu olennaisena osana myös lämmönkeruupiiri, jonka avulla lämpö otetaan talteen. Järjestelmään kuuluvat myös aurinkolämpökeräimet ja tuulivoimala tai aurinkopaneelit. Järjestelmään tarvitaan myös varaaja, johon tuotettu lämmin vesi varastoidaan. Lopuksi tarvitaan vielä ohjausjärjestelmä ja siihen olennaisesti kuuluva automaatio, jolla kokonaisjärjestelmää ohjataan ja seurataan.

### **12.2 Alustavan hybridimallin luonti**

Alustavan teknisen tarkastelun jälkeen vertailussa oli vastakkain eri valmistajien tarjoamia laitteistoja ja niiden ominaisuuksia. Tämän vertailun tuloksena saatiin kuva siitä, millaisia teknisiä ratkaisuja eri valmistajilla oli tarjolla. Tällöin hahmottui kuva siitä, miltä näiden yksittäisistä laitteista koottu yhdistelmäratkaisu näyttää tällä hetkellä.

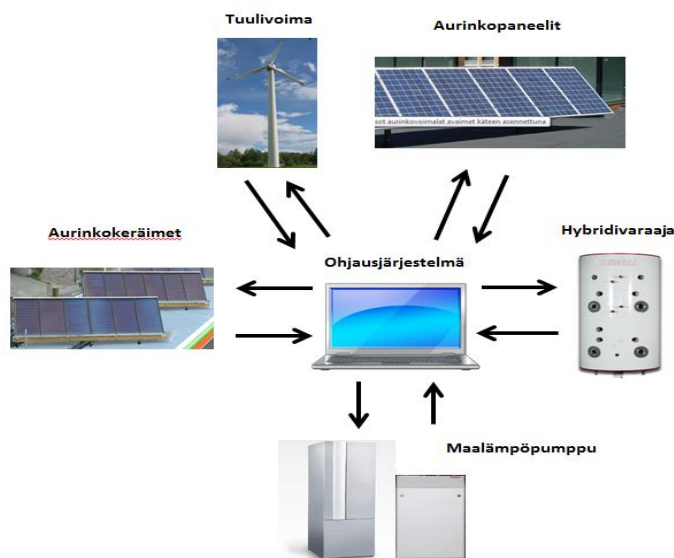
Kuviossa 39 oleva aurinkokeräinjärjestelmä toimii omana yksikkönään. Aurinkokeräinten ohjauksen hoitaa oma ohjainjärjestelmä, joka seuraa varaajan lämpötilaa ja keräimissä olevan nesteen lämpötilaa. Heti, kun varaajan ja keräimissä olevan nesteen lämpötilaero nousee asetetun lämpötila-arvon (yleensä 4–6 °C astetta) yli, ohjausyksikkö käynnistää kierrätyspumpun. Pumpulla kierrätetään keräimissä lämmennyt nestettä varaajassa olevan kierukan kautta, jonka jälkeen jäähtynyt neste kierrätetään paluuputkessa takaisin keräimiin. Pumppuyksikkö käynnistyy ja sammuu automaattisesti varaajassa ja keräimissä vallitsevien lämpötilaerojen mu-



ressorin avulla korkeaan paineeseen, jolloin sen lämpötila nousee nopeasti jopa yli 100 °C asteeseen. Tämä jälkeen kuuma höyry johdetaan tulistimeen, jossa kuumasta höyrystä hyödynnetään kuumin osa ja jota käytetään silloin, kun veden lämpötilaa halutaan nostaa korkeammaksi, esimerkiksi lämpimäksi käyttövedeksi. Lauhduttimessa hyödynnetään loppuhöyry, jolloin kaasuun varautunut loppulämpö siirretään varaajaan lämmitysvedeksi. Lauhduttimessa höyry jäähtyy ja palautuu taas takaisin nestemäiseen olomuotoon. Kylmäaineen paine lasketaan normaalille tasolle käyttämällä hyväksi paineenalennusventtiiliä. Kylmäaine palautuu takaisin höyrystimelle, jolloin kierto voi alkaa alusta ja höyrystimessä oleva kylmäaine on valmiina ottamaan vastaan lämpöä maapiirin lämmönkeruunesteestä. Maalämpöpumpussa on oma suljettu ohjainjärjestelmänsä, joka hoitaa ennalta käyttäjän asettamien parametrien mukaan täysin itsenäisesti maalämpöpumpun toiminnan ja ohjauksen.

Tuulivoima tai aurinkopaneelit ovat tässä järjestelmässä irrallisia laitteita, vaikka ne tuottavatkin mahdollisimman kattavasti muiden laitteiden tarvitseman sähkön.

Samalla, kun hahmottui ensimmäinen kuva siitä, millaisista erilliskomponenteista tällaisen hybridilämmitysjärjestelmän tulisi teknisesti koostua, esille nousi teknisiä kysymyksiä, joihin piti saada vastauksia asiantuntijoilta. Lähinnä kysymykset koskivat sitä, että onko olemassa joitain teknisiä rajoituksia näiden laitteiden yhdistämiseksi yhdeksi kokonaisuudeksi.



Kuvio 40. Integroidulla ohjausjärjestelmällä toimiva hybridilämmitysjärjestelmä.

## 13 HYBRIDILÄMMITYSJÄRJESTELMÄKONSEPTIN TOTEUTUS

### 13.1 Yleistä

Asiantuntijoiden haastattelujen, kommenttien ja omien analysointien tuloksena syntyi tekninen ratkaisu, jossa eri laitteistot yhdistetään toisiinsa ulkoisella ohjausyksiköllä. Ulkoinen ohjausyksikkö kontrolloi ja mittaa ennalta määritettyjä suureita ja näiden muuttuneiden mittausten ja tilojen perusteella suorittaa ohjauksia ennalta määrätyn ohjelmoinnin mukaisesti.

### 13.2 Maalämpö

Maalämmöllä on keskeinen merkitys pääenergialähteenä myös uudessa konseptissa. Maalämpölaitteiston tulistimen ja lauhduttimen meno- ja paluuputkistoihin on lisätty lämpötilan mittauksia, joiden avulla voidaan mitata ja seurata ulkoisen ohjausjärjestelmän kautta energian määrää. Maapiirissä maahan menevään putkeen on lisätty lämpötilan mittaus, jolloin voidaan seurata paluunesteen lämpötilaa. Maasta tulevaan (lämmönkeruupiiri) putkeen on kiinnitetty kaksi lämpötilan mittausta, jotka on sijoitettu ennen lämmönvaihdinta ja lämmönvaihtimen jälkeen. Näiden lämpötilojen mittauksella ja analysoinnilla voidaan seurata aurinkokeräimen tuottamaa ja lämmönvaihtimen kautta maapiiristä palaavaan nesteeseen luovutettavaa lämpö määrää.

Maalämpöjärjestelmän sisäiseen automaatioon ja ohjausjärjestelmään ei ole tulossa muutoksia. Ulkoisella ohjausjärjestelmällä ohjataan maalämpölaitteistoa vain päälle ja pois. Ulkoisella ohjausjärjestelmällä ohjataan maalämpölaitteisto päälle silloin, kun muut vaihtoehtoiset energialähteet eivät riitä kattamaan lämpöenergian kulutusta. Uudella ohjausjärjestelmällä pyritään optimoimaan maalämmön käymis- ja tuottoajat, jolla taas pyritään nostamaan entisestään laitteiston hyötysuhdetta.

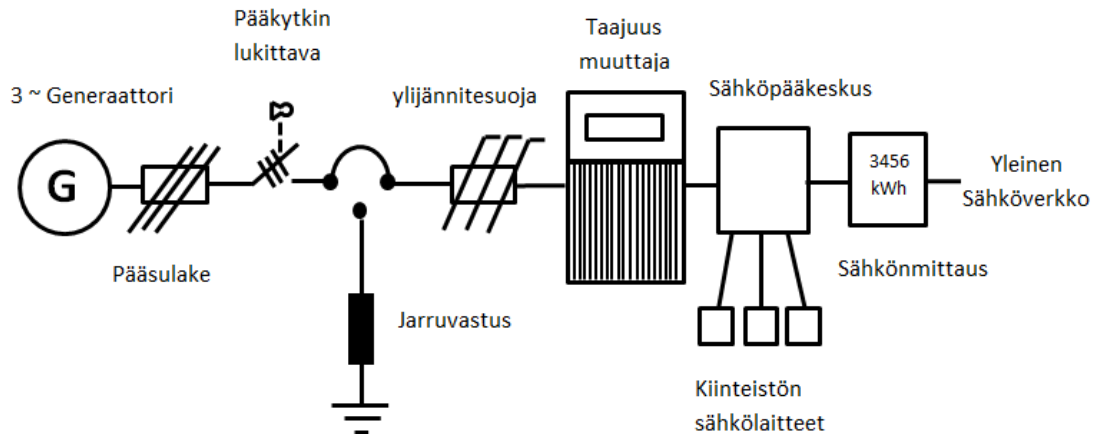
### 13.3 Aurinkokeräimet

Aurinkokeräimistä pyritään uuden järjestelmän avulla saamaan enemmän energiaa ja näin ollen hyödyntämään aurinkokeräimiä vuositasolla huomattavasti pidemmän aikaa. Aurinkokeräimillä ei uudessa järjestelmässä ole omaa ohjainta, vaan ohjauksen hoitaa nyt uusi keskitetty ohjausjärjestelmä. Uusi ohjausjärjestelmä ohjaa pumpun taajuusmuuttajaa ennalta asetettujen lämpötila-arvojen mukaan. Ohjaukset ovat kierrätyspumpun käynnistyminen, sammuttaminen ja pumpun kierrosnopeuden säätö aurinkokeräimissä lämpiävän nesteen ja varaajassa olevan veden lämpötilaerojen mukaan. Silloin, kun aurinko paistaa lyhyitä jaksoja hyvin epäsäännöllisesti, aurinkokeräimistä saatava energia ei riitä lämmittämään varaajassa olevaa vettä. Tällaisessa tilanteessa aurinkokeräimestä saatavaa lämpöä käytetään hyväksi maalämpöpiirin maasta tulevan nesteen lämmittämiseksi. Maalämpöpiiristä tuleva neste menee lämmönvaihtimen kautta, jossa kierrätetään aurinkokeräimissä lämmitettyä keräysnestettä. Lämpö siirtyy lämmönvaihtimen avulla keräysnesteestä maalämpöpiirin nesteeseen, jolloin maalämpöpumpun avulla saadaan nesteeseen varautunut lämpö talteen suurempana lämmityshyötysuhteena. Tällä tavalla voidaan aurinkokeräimistä saatavia vähäisempiäkin ja epäsäännöllisiä energiamääriä hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti.

Maalämpöpumppuvalmistajien haastatteluiden perusteella maapiirin nesteen lämmittämisen rajoittavaksi tekijäksi nousi se, että yleensä höyrystimelle tulevan maapiirin nesteen maksimilämpötilaksi on määritelty noin 20 °C. Maapiirin nesteen maksimilämpötilaa on jouduttu rajoittamaan sen vuoksi, että voitaisiin taata toimiva lämmöntuotto prosessi sekä estettäisiin laitteiden mahdollinen rikkoutuminen. Markkinoilla on tarvittaessa olemassa myös laitteistoja, jotka pystyvät toimimaan ongelmitta myös silloin, kun keräysnesteeseen höyrystimelle tuleva lämpötila nousee selvästi yli 20 °C:tta. Käytännössä nämä laitteet ovat tekniikaltaan samanlaisia, kun mitä käytetään alle 20 °C:een lämpötiloissakin. Suurin ero tulee laitteistossa käytettävästä kylmäaineesta ja sen ominaisuuksista, joita muuttamalla voidaan hyödyntää myös yli 20 °C:een nousevia keräysnesteiden lämpötiloja.

### 13.4 Tuulivoimala

Tuulivoiman merkitys uudessa lämmitysjärjestelmäkonseptissa säilyy samana verrattuna erillislaitteista ja ohjaimista koostuvaan järjestelmään. Oletuksena on edelleen, että kaikki mahdollinen tuulienergia otetaan käyttöön.



Kuvio 41. Tuulivoimalan periaatteellinen kytkentäkuva

Omakotitaloihin soveltuva vaaka-akselinen pientuulivoimala koostuu teknisesti vaihteettomasta kestopagneettigeneraattorista, josta ulostuleva vaihtojännite vaihtelee 0–400 V:n välillä. Olennaisesti voimalakokonaisuuteen kuuluvat myös pääsulake ja ylijännitesuoja, joiden tehtävä on suojata voimalaa mm. virtapiikeiltä ja ukosen aiheuttamilta vahingoilta. Voimalassa on lukittava pääkytkin, jolla voimala voidaan vaaratilanteessa tai sen uhatessa kytkeä irti verkosta. Vastaavasti, jos yhteys syötettävään verkkoon katkeaa tai jos verkossa esiintyy poikkeavia häiriöitä esim. jännitteessä, tällöin tuulivoimala kytkeytyy automaattisesti jarruvastukseen. Jarruvastuksella simuloidaan verkon aikaansaamaa kuormaa ja näin ollen sillä pyritään rajoittamaan voimalan pyörimisnopeutta ja estämään mahdollisesti syntyvät laiterikot.

Taajuusmuuttajalla on tuulivoimalan toimimisen kannalta tässä tuulivoimalakokonaisuudessa tärkeä merkitys. Taajuusmuuttaja tahdistaa tuulivoimalan ja kytkee sen automaattisesti verkkoon heti, kun tuulivoimala alkaa tuottaa sähköä. Taajuusmuuttajalla on tuotannon kannalta toinenkin merkittävä tehtävä, joka koskee



tuulivoimalan oikeaa kuormituksen optimointia suhteessa vallitseviin tuuliolosuhteisiin.

Taajuusmuuttaja on kytkettynä kiinteistön sähköverkkoon, jolloin tuulesta saatavaa sähköä voidaan hyödyntää myös muissa kiinteistön sähköverkkoon kytketyissä sähkölaitteissa. Sähköntuotannon ylijäämätilanteessa sähkö syötetään verkonhaltijan verkkoon ja vastaavasti alijäämätilanteessa verkosta otetaan puuttuva sähkö laitteistojen käyttöön

### **13.5 Aurinkopaneelit**

Tuulivoiman hyödyntäminen ja rakentaminen taajama-alueilla ei ole useasti mahdollista tuulivoiman tarvitsemien lupien, selvitysten sekä yleisen huonon hyväksyttävyytensä vuoksi. Tämän vuoksi aurinkopaneelit ovat hybridilaitteiston vaatiman sähköntuotannon kannalta ainoa vaihtoehto monissakin tilanteessa. Jossain tapauksissa aurinkopaneelit antavat kuitenkin mahdollisuuden valita oman sähköntuottamistavan tuulivoiman ja aurinkoenergian välillä. Aurinkopaneeleja ei varsinaisesti ohjata keskitetyllä ohjausjärjestelmällä, vaan aurinkopaneeleja ohjataan teknisestä kokoonpanosta ja kytkentätavasta (akku- vai sähköverkkokytkentä) riippuen lataussäätimellä tai verkkoinvertterillä. Pääsääntönä aurinkopaneelien ohjaamisessa voidaan kuitenkin pitää sitä, että kaikki mahdollinen aurinkoenergia pyritään hyödyntämään ja tuottamaan paneeleilla mahdollisimman paljon sähköä. Mikäli kytkentätapa sekä sähköverkon haltija antaa mahdollisuuden, syötetään kaikki mahdollinen ylimääräinen sähkö yleiseen sähköverkkoon.

### **13.6 Hybridivaraaja**

Hybridivaraaja on kokonaisjärjestelmän toiminnan kannalta yhtä keskeisessä ja tärkeässä asemassa kuten aiemminkin, jolloin laitteistot toimivat omina yksikköinä ja omien ohjauksien kautta. Hybridivaraajan tehtävänä on varastoida edelleen mahdollisimman tehokkaasti kaikki tuotettu lämmin vesi, jota sitten hyödynnetään lämmityksessä ja lämpimänä käyttövetenä.

### 13.7 Ohjausjärjestelmä

Hybridiennergiajärjestelmässä ohjausjärjestelmällä tulee olemaan hyvin keskeinen merkitys. Ohjausjärjestelmän voidaan ajatella koostuvan seuraavista neljästä keskeisestä osa-alueesta: tiedonkeruu, tietojen analysointi, ohjaus ja hallinta. Jokaiseen osa-alueeseen kuuluu tietyt tärkeät ominaisuudet ja toiminnot, joiden kautta on mahdollista rakentaa toimiva ohjausjärjestelmäkokonaisuus.



Kuvio 42. Ohjausjärjestelmän osa-alueet (There Corporation, [viitattu 14.1.2013].)

#### 13.7.1 Tiedonkeruu

Ohjausjärjestelmän ja koko lämmitysjärjestelmän toiminnan ja luotettavuuden kannalta suuri merkitys on hyvin suunnitellulla ja määritetyillä tiedonkeruumenetelmillä ja tiedonkeruupisteillä. Laitteistoa ja ohjausjärjestelmää määriteltäessä ja suunniteltaessa tulee tarkkaan miettiä, millainen data ja mittaustieto ovat laitteiston kokonaisuutta ja optimaalista toimintaa ajatellen kaikkein olennaisinta. Kerättävän tiedon ja mittaustulosten pitäisi olla määrällisesti mahdollisimman kattavia. Samalla kuitenkin pitää pyrkiä välttämään turhia mittauspisteitä ja siten turhan mittausdatan keräämistä. Turhat mittaukset ja turhan tiedon kerääminen kuormittavat järjestelmää ja tekevät siitä monimutkaisemman sekä tätä kautta myös haavoittuvaisemman ja epäluotettavamman.

Tiedonkeruun kannalta ohjausjärjestelmään kuuluvan laitteiston pitää pystyä keräämään ja rekisteröimään tietoa monesta eri lähteestä samanaikaisesti. Tämän lisäksi kerättävät mittaustiedot ja järjestelmästä saatava data tarvitsee luotettavan, turvallisen ja riittävän tallennusformaatin ja kapasiteetin, jotta mittaus- ja datatieto- ja voidaan hyödyntää järjestelmän käyttöön ja tilastointiin nyt ja tulevaisuudessa. Nämä asiat puolestaan vaikuttavat suoraan siihen, että laitteiston pitää ominaisuuksiltaan ja fyysisiltä liitännöiltään olla mahdollisimman monipuolinen ja laajennettavissa oleva, jolloin siihen voidaan kytkeä tarpeeksi suuri määrä erilaisia mittalaitteita, sensoreita, kytkimiä ja venttiilejä (lämpötila-, virtaus-, kosteus-, kaukolämpö-, vedenkulutus-, sähkökulutusmittaus jne.). Järjestelmään pitäisi tapauskohtaisesti saada kytkettyä mahdollisimman monen eri valmistajan mittalaitteita, sensoreita ja kytkimiä. Tällä laajalla komponenttien yhteensopivuudella varmistetaan se, että jokaiseen kohteeseen löytyy mahdollisimman hyvä ja toimiva komponentti. Lisäksi tällä voidaan merkittävästi vähentää komponentti- ja valmistajariippuvuutta, mikä taas antaa mahdollisuuden komponenttien vertailuun ja kilpailuttamiseen.

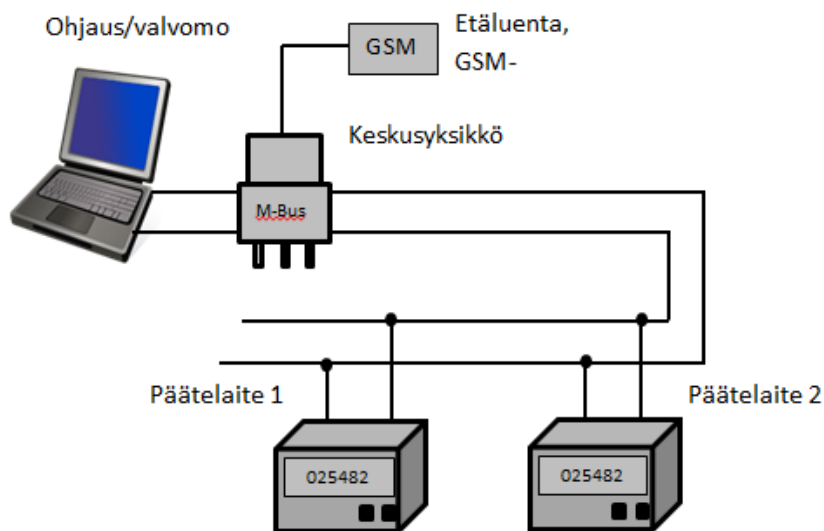
Tässä hybridilämmitysjärjestelmässä tiedonkeruun osalta käytettävät komponentit tulevat sisältämään useita lämpötilamittareita, virtausmittareita, sähkökulutus- ja sähköntuottomittareita, painemittareita ja yksi yhdistetty tuulen suunta- ja nopeusmittari.

Hybridilämmitysjärjestelmän vaatima mittaustiedon kerääminen voitaisiin hoitaa esimerkiksi käyttämällä hyväksi M-Bus-verkkoa ja M-Bus-väylään liitettyjä päätelaitteita (kuvio 43). Monessa kiinteistössä huoneistokohtaiseen tiedonkeruuseen on jo käytetty hyväksi M-Bus-väylää ja siihen liitettyjä mittareita ja antureita. Tämän vuoksi markkinoilla on saatavilla hyvinkin laajasti erilaisia päätelaitteita ja sovelluksia, jotka olisivat mahdollisesti helposti sovellettavissa myös tällaisen hybridilämmitysjärjestelmän tarpeisiin.

M-Bus-väylä on suunniteltu nimenomaan mittaustietojen siirtämiseen, jolloin ohjaukset ja mahdolliset hälytykset pitää toteuttaa muulla tavoin. M-Bus-tiedonkeruujärjestelmä tulee koostumaan valvontaan tai mittaustulosten analysointiin keskittyvästä tietokoneesta, joka on kytkettynä ja yhteydessä keskusyksikköön. Keskusyksikköihin valmistajasta ja mallista riippuen voidaan kytkeä päätelaitteita

60:stä aina 250:een asti. Päätelaitteina voivat olla erilaiset mittarit, anturit ja toimilaitteet.

Keskusyksikkö ohjaa kaikkea mittaustoimintaa ja sen käskystä suoritetaan mittauksia. Mittaukset perustuvat keskusyksikön päätelaitteelle lähettämään kyselyyn ja päätelaitteelta tulevaan vastaukseen. Tiedonsiirto M-Bus-väylällä tapahtuu vain yhteen suuntaan ja yhden päätelaitteen kanssa kerrallaan. Keskusyksikkö voi olla kytkettynä itse ohjaus-/ valvomokoneeseen, joka tallentaa tarkemmin keskusyksiköltä tulevan datan. Vaihtoehtoisesti keskusyksikön keräämät tiedot voidaan myös etälukea ja siirtää tietoliikenneyhteyksiä käyttämällä myös etäämmällä sijaitsevaan järjestelmään.



Kuvio 43. M-Bus-väylän rakenne (Saint-Gobain Pipe Systems 2005.)

### 13.7.2 Tiedon analysointi

Kuten aikaisemmin todettiin, tiedonkeräämisen suunnittelu on tärkeää. Yhtä tärkeää on myös suunnitella, mitä kerätyllä mittaustiedoilla ja datalla tehdään ja miten siihen reagoidaan. Olennaista olisi käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi kaikkea järjestelmästä kerättyä mittaustietoa. Hybridilämmitysjärjestelmän ohjausta suunniteltaessa pitäisi ottaa huomioon, mitkä mitatut muuttujat vaikuttavat mihinkin lopputulokseen ja millä muuttujilla on mahdollisesti vaikutusta moneen eri käsiteltävään lopputulokseen.

Hybridilämmitysjärjestelmän kannalta järjestelmä tulisi suunnitella ja toteuttaa siten, että järjestelmästä saataviin mittaustietoihin reagoitaisiin heti ja niitä pystyttäisiin hyödyntämään ohjauksessa hyväksi mahdollisimman reaaliaikaisesti.

Nopeasti muuttuvien lämmitysenergiatarpeiden ja vastaavasti vallitsevien ja muuttuvien ilmasto-olosuhteiden vuoksi mittaustuloksiin reagoiminen on ensiarvoisen tärkeää. Ohjausjärjestelmän tulisi nopeasti pystyä reagoimaan ja hallitsemaan lämmitysjärjestelmää siten, että se pystyisi eri tilanteissa tuottamaan energiaa mahdollisimman optimaalisesti.

Joissakin tapauksissa ohjausjärjestelmään tallentuneita vanhempia mittaustietoja voitaisiin mahdollisesti käyttää lämmitysjärjestelmän ohjauksen hyväksi, kun esimerkiksi ennustettaisiin tai analysoitaisiin energian tarpeita joissakin tietyissä olosuhteissa ja tilanteissa. Lisää syvyyttä energiantarpeen ennakkointiin saadaan, kun ohjausjärjestelmään syötetään esimerkiksi Ilmatieteenlaitoksen tarjoaman seuraavan vuorokauden sääennustukset. Nämä tiedot voivat pitää sisällään mm. lämpötilan, tuulennopeuden, aurinkosäteilyn, pilvisyyden jne.

Vanhoja mittaustietoja voitaisiin käyttää hyväksi, kun analysoitaisiin järjestelmän aikaisempaa toimintaa. Saaduista tiedoista olisi hyötyä lämmitysjärjestelmän kehittämisessä ja ohjausjärjestelmän parametrien säätämisessä. Ohjausjärjestelmän pitäisi olla myös ns. oppiva järjestelmä, jolloin se osaisi tunnistaa tilanteita, jotka ovat aikaisemminkin toistuneet. Tällöin järjestelmä osaisi toimia jo tilanteen edellyttämällä mahdollisimman optimaalisella tavalla.

### **13.7.3 Ohjaus**

Toimivan ohjauksen perusedellytyksenä on se, että järjestelmään liitettävät eri laitteistot keskustelevat mahdollisimman hyvin keskenään toistensa kanssa. Oikeiden mittaustietojen kerääminen sekä mittaustietojen oikea käsittelytapa ovat merkittävässä asemassa, kun puhutaan ohjauksesta ja siitä, miten ohjauksen tulisi kulloinkin reagoida saatuihin tuloksiin. Yksinkertaisuudessaan ohjausjärjestelmän pitäisi pystyä mittaustietojen perusteella ja näitä tietoja käsittelemällä päättämään paras ja optimaalisin tuotantotapa, jolla lämmin vesi kulloinkin tuotetaan.

Toteutuksessa laitteistojen omien ohjausjärjestelmien päällä toimii ns. ylemmän tason keskitetty järjestelmä, joka ohjaa järjestelmään kuuluvia laitteita päälle/pois periaatteella. Tällä valitulla ohjaustavalla pyritään optimoimaan ja valitsemaan oikea energian tuotantotapa aina suhteessa tuotettavan energian tarpeeseen nähden. Tällä tarkoitetaan yksinkertaistettuna sitä, että tuulivoimasta ja aurinkopaneeleista saatavaa sähköenergiaa tuotetaan aina, kun tuulee ja aurinko paistaa. Ensisijaisesti tuulivoimasta ja aurinkopaneeleista saatavaa sähköenergiaa hyödynnetään ensin lämmitysjärjestelmän käyttöön ja tarpeisiin. Mikäli sähköenergiaa ei tarvita lämmitysjärjestelmän tarpeisiin, se otetaan käyttöön muissa kiinteistön sähköpisteissä. Vastaavasti aurinkoisella säällä voidaan mahdollisimman pitkälle tuottaa lämmintä vettä ensisijaisesti käyttämällä pelkästään aurinkokeräimiä. Silloin, kun täydentäviä energialähteitä ei voida käyttää, joudutaan turvautumaan täysin maalämpöön ja sen tuottamaan lämpimään veteen.

Ohjauksen toteuttaminen on kaiken kaikkiaan haaste, vaikka se onkin yritetty pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja selkeänä. Ohjaukseen haastetta tuo oikeiden parametrien määrittely, mittaaminen, käsittely ja se, miten ja milloin näiden parametrien muutoksiin reagoidaan.

Ohjauksen osalta on päätetty, että esimerkiksi maalämmön osalta ei tulla puuttumaan maalämpöpumpun sisäiseen automatiikkaan ja siellä tapahtuviin ohjauksiin. Tätäkin laitetta tullaan ohjaamaan päälle ja pois. Tällä pyritään varmistamaan se, että laitetta käytetään vain silloin, kun käyttö on kokonaisjärjestelmän toiminnan kannalta kaikkein edullisinta ja perusteltua. Laitteistojen sisäisiin ohjauksiin ei puututa, koska laitteiden sisäisellä automaatiolla ja ohjauksilla laitteisto on tehty toimimaan mahdollisimman turvallisesti ja tehokkaasti.

#### **13.7.4 Hallinta**

Hybridilämmitysjärjestelmän hallinnan pitäisi olla mahdollisimman helppoa ja vaivatonta. Järjestelmää pitäisi pystyä hallitsemaan yhdeltä keskitetyltä kosketusnäytöltä, josta löytyisi kaikki keskeisimmät toiminnot ja säädöt, joita käyttäjä voisi tarpeidensa mukaan lisätä ja poistaa. Näytölle sijoitettujen toimintojen, valikoiden ja näppäimien nimien pitäisi olla mahdollisimman kuvaavia, lisäksi niiden pitäisi toi-

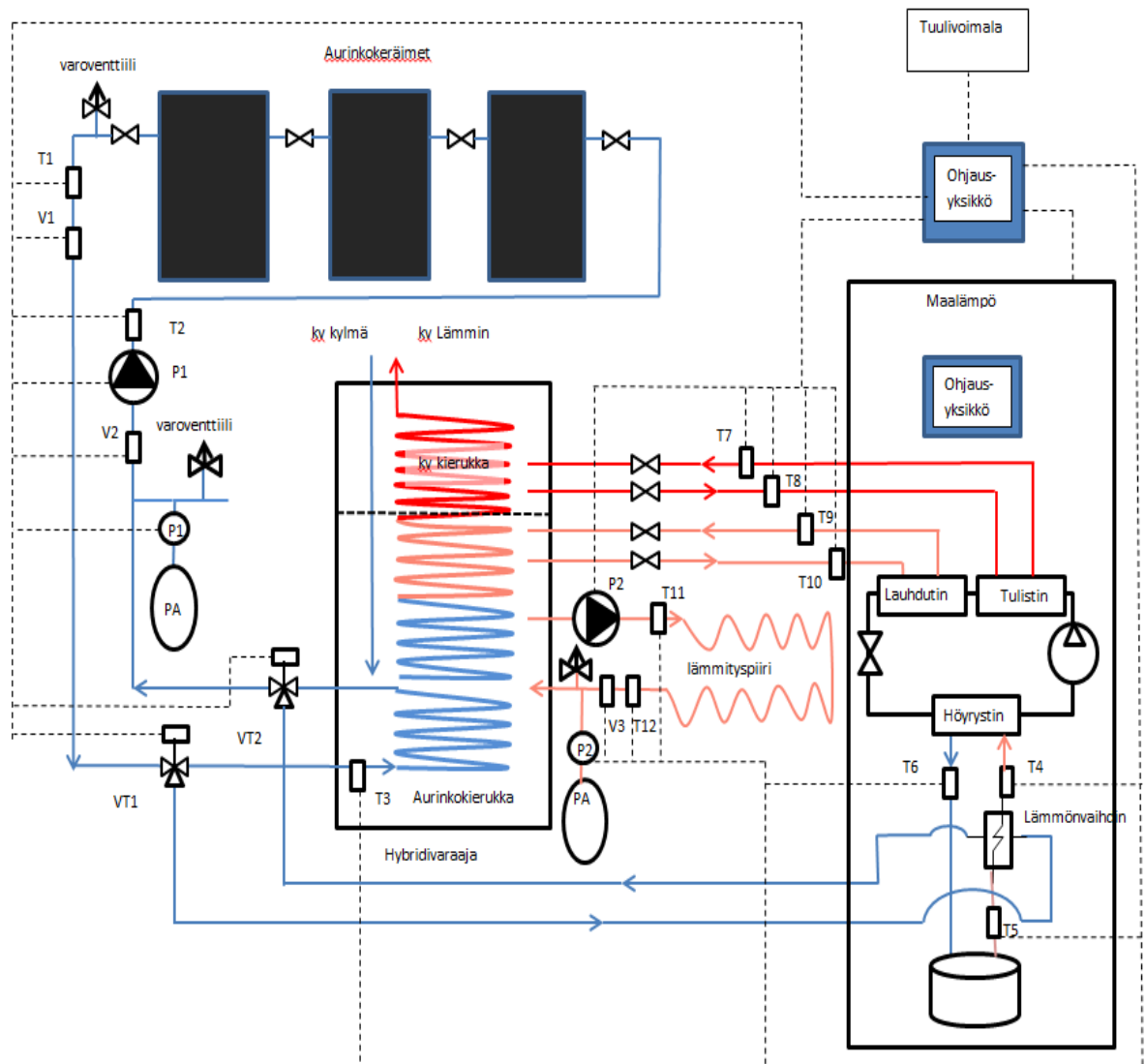
mia loogisesti oikein. Näytöllä esitettävät tekstit, värit, kaaviot ja kuvat pitäisi suunnitella siten, että ne näkyisivät mahdollisimman hyvin ja selvästi ja eivät näin ollen aiheuttaisi minkäänlaisia vääriä tulkintoja.

Hallintalaitteesta pitäisi löytyä helposti ja nopeasti erilaiset yleisimmin toistuvat tai käytettävät asetukset, kuten poissaolo- ja loma-asetukset. Poissaolo- ja loma-asetuksilla järjestelmä automaattisesti laskisi lämpötilaa käyttäjän ennalta asettamaan arvoon ja mukauttaisi laitteiston toimimaan asetetun alemman energian tarpeen mukaan. Järjestelmän hallinnan ja seurannan pitäisi onnistua myös kiinteistön ulkopuolelta internetiin kytketyn laitteen välityksellä. Internetin yli olisi mahdollista seurata kiinteistön lämpötiloja, kulutustietoja, hälytyksiä sekä tehdä myös tarvittaessa toimilaitteiden ja lämpötilojen ohjausta ja säätöä.

### **13.7.5 Hybridilämmitysjärjestelmä**

Selvitystyön lopputuloksena syntyi hybridilämmitysjärjestelmän tekninen konsepti, jossa yksittäiset laitteet yhdistetään keskitetyn ohjausyksikön avulla yhdeksi toimivaksi lämmitysjärjestelmäkokonaisuudeksi. Perinteiseen yksittäisistä erillisistä laitteista ja laitteistokohtaisista ohjaimista koostuvaan ratkaisuun verrattuna keskitetyn lämmitysjärjestelmän toiminnan pitäisi olla tehokkaampaa, taloudellisempaa ja käyttäjäystävällisempää.

Perinteiseen ratkaisuun verrattuna uudessa järjestelmässä (kuvio 44) on paljon ulkoisia mittauksia ja tiedonkeruuta, joita tarvitaan siihen, että laitteet voivat toimia yhtenä lämmitysjärjestelmäkokonaisuutena.



Kuvio 44. Tekninen kuva hybridilämmitysjärjestelmästä

Lopputuloksena syntynyt konsepti voi aluksi tuntua hieman sekavalta ja monimutkaiselta, mitä se ei kuitenkaan ole. Energian tuotantolaitteistot (maalämpöpumppu, aurinkokeräimet, aurinkopaneelit, varaaja, tuulivoimala) pysyvät samoina, jolloin järjestelmään liitetään vain uusia komponentteja, mittauksia ja ohjauksia. Pääosin järjestelmään liitetään useita lämpötilanmittauksia (T1, T2, T...), virtausmittauksia (V1, V2, V...), paineenmittauksia (P1, P2) sekä venttiilien ja pumppujen ohjauksia.

Suurimmat muutokset perinteiseen ratkaisuun verrattuna ovat ulkoinen ohjaus ja aurinkokeräimistä saatavan pienempien energiamäärien hyödyntämiseen liittyvät putkilinja, lämmönvaihdin ja kaksi kolmitieventtiiliä. Kolmitieventtiilien VT1 ja VT2 avulla keräimistä saatava lämpö hyödynnetään joko suoraan varaajassa olevan



veden lämmittämiseen tai vaihtoehtoisesti lämmönvaihtimen kautta maapiirissä kiertävän nesteen lämmittämiseen. Vallitsevat sääolosuhteet, ennakoitu energiantarve ja mahdollinen sääennuste vaikuttavat siihen, millä tavalla ohjausjärjestelmä aurinkokeräimistä saatavaa lämmintä nestettä lämmitysjärjestelmässä kulloinkin hyödyntää.

Konseptissa lämmitysjärjestelmään kuuluvat laitteet ja komponentit ovat suhteellisen yksinkertaisia ja yleisesti käytössä olevia sekä erikseen käytettyinä toimiviksi todettuja ratkaisuja. Teknisesti laitteet ja komponentit ovat tuttuja, mutta haasteeksi järjestelmän kokonaistoiminnan kannalta nousee näiden laitteiden ja komponenttien yhteensovittaminen ja optimointi. Tämä osa-alue ei ole yksinkertainen ratkaista ja vaatii lisää tutkimusta, testausta, säätöä ja rajojen määrittelyä, ennen kuin järjestelmä voisi toimia halutulla ja määritetyllä tavalla. Tämä konsepti on yhdenlainen alustava malli, joka voi lisätutkimusten, pilottirakentamisen ja testausten kautta jalostua myös toisenlaiseksi tekniseksi kokonaisuudeksi ja ratkaisumalliksi.

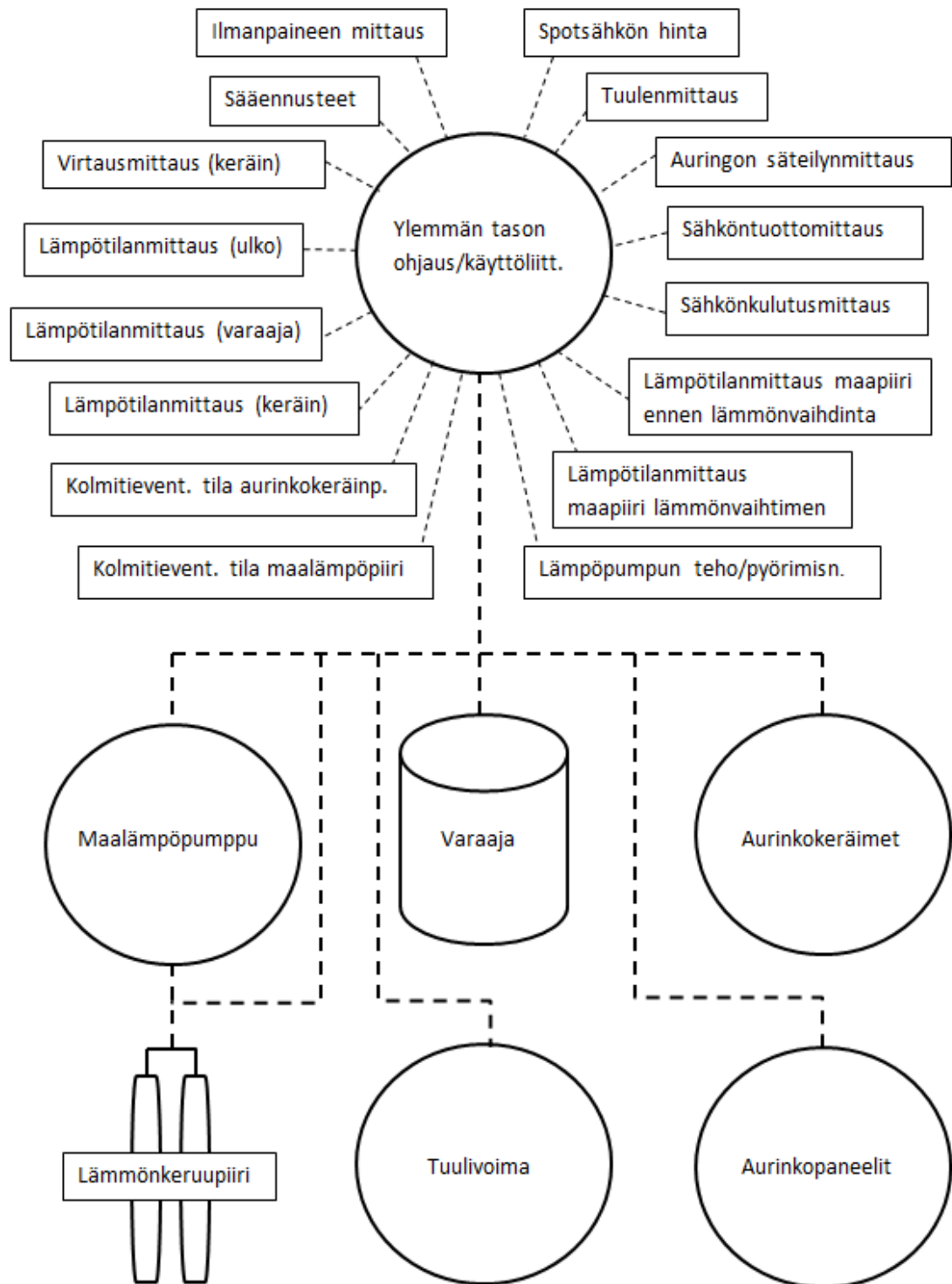
## 14 AUTOMAATIO- JA OHJAUSJÄRJESTELMÄN MÄÄRITTELY

Aikaisemmissa luvuissa on tuotu esiin että hybridilaitteiston toiminnan kannalta tärkeimmässä ja keskeisimmässä roolissa on hybridilämmitysjärjestelmän automaatio- ja ohjausjärjestelmä. Tämän vuoksi automaation ja ohjausjärjestelmän määrittelyyn ja suunnitteluun pitää käyttää paljon resursseja. Tässä työssä ei kuitenkaan tehdä mitään valmista automaatio-suunnitelmaa, vaan tuodaan esiin asioita, joita pitää automaation ja ohjausjärjestelmän suunnittelussa ottaa huomioon. Tässä työssä esitetty alustava automaatio- ja ohjausjärjestelmän määritelmä on yksi näkemys mahdollisesta toteutuksesta, joka ei kuitenkaan mahdollisesti ole optimaalisin ratkaisu.

### 14.1 Automaatiokokonaisuus

Keskitetty ohjausjärjestelmäkokonaisuus tarvitsee toimiakseen lukuisia mittaustietoja sekä muita tietoja. Pääosa ohjausjärjestelmän tarvitsemista tiedoista saadaan hyvinkin helposti erilaisten mittausantureiden kautta. Muutamat sähköisessä muodossa olevat tiedot, kuten sääennusteet ja sähköpörssin muuttuva sähkönhinta saadaan luettua käyttämällä hyväksi eräiden palveluntarjoajien tietokantoja. Sääennusteet voidaan käydä lukemassa esim. Ilmatieteenlaitoksen tietoineistoista ilmaiseksi. Ilmatieteenlaitos lupaa lisäksi auttaa ja neuvoa ilmaisen datan käytössä.

Automaatiojärjestelmäkokonaisuus (kuvio 45) tulee sisältämään lukuisia input- ja output-tietoja, joiden pohjalta tiedonkäsittelyä, analysointia, optimointia ja ohjausta tullaan suorittamaan. Järjestelmän toiminta perustuu siihen, että ohjausjärjestelmä pystyy joka tilanteessa valitsemaan kulloinkin parhaan ja kustannustehokkaimman tuotantotavan lämmitysenergian tuottamiselle. Järjestelmä ohjaus tulee perustua siihen, että ylemmän tason ohjausjärjestelmä tulee antamaan eri laitteistoille ns. tuotantolupia energian tuottamiseen. Hybridijärjestelmään liittyvät mittaus- ja muut analysointitiedot voivat muuttua hyvinkin nopeasti esim. sään muuttuessa pilvisestä aurinkoiseen. Aurinkoisessa säässä vallitsevaksi energiatuotantotavaksi valikoituu aurinkokeräimet, joilla lämpöenergia ensisijaisesti tullaan tuottamaan.



Kuvio 45. Automaatiojärjestelmäkokonaisuus

## 14.2 Automaation syötteen ja ohjaukset

Taulukko 2. Automaatiojärjestelmän mittaukset ja ohjaukset

Mittaus:	Toiminto/ohjaus:
Tuulimittari:	Tuulennopeus, koska kannattaa tuottaa sähköä, onko tuuli tasaista, liian kova, yms.
Ilmanpaine:	Ilmanpaineen avulla, voidaan ennustaa säätä ja mahdollisia vaihteluita, joiden pohjalta voidaan ennakoida lämmitystarvetta.
Auringonsäteily:	Auringon säteilyn voimakkuus, kuinka paljon energiaa, voidaan käyttää ohjaukseen (aurinkoa seuraava), missä asennossa saadaan teho eniten,
Lämpötila ulkona:	Ulkolämpötilan kautta tapahtuva ohjaus, tarvitaanko lämmitystä, tarvitaanko jäähdytystä. Onko lämpötilan muutoksen kautta voidaan ennakoida energia tarvetta.
Varaajan lämpötila:	Seurataan varaajan lämpötilaa, onko tarvetta lämpimälle vedelle, jos varaaja täynnä ja ennakoitu lämpimän veden tarve pientä, niin silloin voitaisiin lämmittää varata maalämpöpumpun kaivoon tai lämmittää kaivosta tulevaa keräysnestettä.
Aurinkokeräimen lämpötila:	Keräimen lämpötilan seuranta, keräimen ja varaajan lämpötilaeron mukaan käynnistetään kierrätyspumppu, nestettä kierrätetään joko varaajaan tai maalämpökaivossa.
Keräimen virtausmittaus:	Virtausmittarilla seurataan keräimissä tapahtuvaa nesteen virtausta. Virtausmittauksen ja lämpötilan mukaan säädetään kierrätyspumppun tehoa. Tehoa säädetään monesti taajuusmuuntajalla, johon pumppu on kytketty.
Spotsähkönhinta:	Seurataan pörssisähkön reaaliaikaista sekä hinnan kehitystä. Sähkönhinnan mukaan, voidaan asettaa rajoja ja toiminta-aikoja, jolloin laitteistot toimivat kustannustehokkaasti.
Sähköntuottomittaus:	Mitataan sähköntuottoa, joka saavutetaan tuulivoimalla. Tuoton mukaan voidaan ohjata joitakin laitteita päälle tai vastaavasti huonolla tuotolla pois päältä.
Sähkönkulutusmittaus:	Mitataan koko kiinteistön sähkönkulutusta,
Sähkövirranmittaus:	Virtaa mittaamalla voidaan laitteisto säätää käymään silloin kun muu kiinteistön kuormitus on pienempää, jolloin voitaisiinko tällä välttää esim. pääsulakkeiden koon kasvattaminen??
Sääennusteen lukeminen:	Luetaan palveluntarjoajan sähköisestä tietokannasta. Sääennustuksen mukaan reagoidaan mahdolliseen lämpöenergian kasvuun. Automaatio ohjaa lämmitysjärjestelmää tuottamaan ennakkoon lämpöenergiaa mahdollisimman kustannustehokkaasti

Taulukossa 2 on tarkemmin esitelty automaation ja järjestelmän ohjaamiseen tarvittavia syötteitä eli alustavasti suunniteltuja mittauksia ja muita sisään tulevia da-

tavirtoja. Olennaisimpia järjestelmän toiminnan kannalta ovat erilaiset mittaukset (lämpötila-, virtaus-, sähkön-, ilmanpaineen-, auringonsäteilyn- sekä tuulennopeudenmittaus). Näiden mittausten perusteella lämmitysjärjestelmän automaatioon kytketty ohjausjärjestelmä tekee toimintoja, ohjauksia sekä hallinnoin järjestelmään kuuluvia laitteistoja.

Taulukossa 2 on lisäksi alustavasti esitelty, miten tietyt mittaukset ja sisään tulevat syötteet vaikuttavat tiettyihin ulostuleviin ohjauksiin ja toimintoihin.

### **14.3 Automaation kenttälaitteet**

Hybridilämmitysjärjestelmäkonseptin automaatiossa on lukuisia ns. kenttälaitteita, pääasiassa erilaisia antureita, kytkimiä ja toimilaitteita. Suurin osa kenttälaitteista on erilaisia antureita, joiden avulla mitataan hybridilaitteistoon kuuluvien eri osien ja komponenttien lämpötiloja, painetta sekä virtausnopeutta. Näiden lisäksi järjestelmään kuuluu muutama kytkin sekä toimilaite, joilla ohjataan laitteita päälle/pois sekä ohjataan vaihtoverkköjen tilaa.

Lämpötilan mittaukseen voidaan tässä tapauksessa käyttää yleisesti käytössä olevia analogisia vastusarvon muutokseen perustuvia NTC- tai PTC-tyyppisiä antureita.

Järjestelmän paineen mittaukset tullaan hoitamaan analogisilla antureilla, joissa mittaus tapahtuu jänniteviestien avulla. Yleisesti paine-anturien käyttämät jänniteviestityypit ovat 0–10 VDC:n välillä.

Sähkönkulutus, sähköntuotto sekä virtausmittaukset tullaan toteuttamaan pulsiantureiden avulla, jossa pulssitaajuudesta voidaan nähdä energiantuotto, energiankulutus sekä lämmityspiirissä ja aurinkokeräimen piirissä vaikuttavat virtausnopeudet.

Maalämpöpumpun, aurinkokeräimen ja lämmityspiirin pumppujen, sekä tuulivoimalan ja aurinkopaneelien on/off-tyyppiset ohjaukset tullaan toteuttamaan digitaali-ohjaukseen kytkettävän välireleen kautta.

Hybridilämmitysjärjestelmän sääennustustietojen sekä pörssisähkönhinnan lukeminen sekä toiminnot tullaan hoitamaan ohjelmallisesti. Ohjelmallisen toteutuksen avulla tiedot käydään lukemassa tietyistä tietokannasta tietyin väliajoin. Lisäksi tiedon käsittelyn ja ohjelmoinnin kautta tullaan reagoimaan muutoksiin ja ohjaamaan järjestelmää niiden mukaan.

Antureiden, kytkimien sekä toimilaitteiden kytkentä itse logiikkaan tehdään käyttämällä hyväksi esimerkiksi väylätekniikkaa tai vaihtoehtoisesti pienissä järjestelmissä anturit, kytkimet ja toimilaitteet voidaan kytkeä paikallisesti johdottamalla kiinni logiikkaan. Aikaisemmin luvussa 13 tiedonkeruun yhteydessä nostettiin esiin M-bus-väylä ja sen hyödyntäminen automaation ja ohjausjärjestelmän toteutuksessa. M-bus-väylän hyödyntäminen on vain yksi vaihtoehto, ja mikäli suunnittelua lähdetäisiin viemään eteenpäin niin tämän väylän ja siirtoprotokollan tarkastelua pitäisi vielä syventää tutkimalla että soveltuuko M-bus-väylä kunnolla laitteiden ohjaamiseen.

#### **14.4 Logiikka**

Mittausanturit, kytkimet sekä toimilaitteet kytketään automaatioon kytketyn logiikan tulo- tai lähtöpiiriin. Logiikan tulo- ja lähtöpiirit ovat käytettävän mittauksen tai anturin mukaan joko analogisia tai digitaalisia. Tässä automaatiossa käytettävät mittausanturit ovat lämpötilan, paineen sekä virtauksen osalta analogisia, joten ne kytketään logiikan analogisiin tuloihin.

Vastaavasti pulssitietoon perustuvat sähkönkulutus, sähköntuotto sekä virtamittausanturit tullaan kytkemään logiikan digitaalisiin tuloihin.

Kolmitieventtiilien ohjaukseen tullaan käyttämään kolmeasentoisia analogisia toimilaitteita, jotka kytketään logiikan analogisiin lähtöihin. Toimilaitteen ohjaus tapahtuu ohjausjännitteen avulla, joka monissa laitteissa on 0–10 tai 2–10 VDC.

Kaikkiaan automaatiojärjestelmän alustavan suunnitelman mukaan logiikassa olisi hyvä olla laajennettavuus mukaan lukien noin 25 tuloa, joista 15 tuloista olisi analogista ja 10 tuloista digitaalisia. Vastaavasti lähtöjen suhteen logiikassa olisi hyvä olla laajennettavuus mukaan lukien noin 20 lähtöä, joista puolet on analogisia ja

toinen puoli digitaalisia. Logiikka on mitoitettu hieman yläkanttiin tulojen ja lähtöjen suhteen. Pienemmälläkin logiikalla voitaisiin automaatio ja ohjaus suunnitella mutta mielestäni tässä vaiheessa on hyvä jättää järjestelmään laajennusvaraa.

### **14.5 Hallinta**

Ohjausjärjestelmää tullaan hallinnoimaan ja ohjaamaan pääosin keskitetyn logiikkaan kytkettävällä kosketusnäytöllisen ohjauspaneelin kautta. Tarvittaessa järjestelmää pitää pystyä hallinnoimaan myös matkapuhelinverkon tai internetin yli, jolloin ohjausjärjestelmässä pitäisi olla mahdollisuus etäluentaan ja etäohjaukseen. Muuten ohjausjärjestelmän sisältöön ja ohjauspaneelin sisältöön, valikoihin tai toimintoihin ei tulla tässä työssä ottamaan tarkemmin kantaa.

## 15 YHTEENVETO JA POHDINTA

Tutkimus alkoi hankkeesta, jossa tavoitteena oli edesauttaa tuulivoiman hyödyntämistä ja käyttöönottoa. Samalla tavoitteena oli tuoda positiivisessa valossa esiin uusiutuvan energian osalta tuulivoimaa, aurinkoenergiaa sekä maalämpöä. Tutkimuksen tavoitteena oli ensisijaisesti selvittää, onko useammasta energiantuotantolaitteistosta koostuva hybridilaitteisto mahdollista toteuttaa käyttämällä hyväksi markkinoilla olevia kaupallisia laitteistoja ja järjestelmiä.

Tutkimuksessa selvitettiin suhteellisen syvällisesti aurinkoenergiaa, tuulivoimaa ja maalämpöön liittyvää teoriaa. Tämän lisäksi kartoitettiin, millaisia lämmitys- ja energiajärjestelmiä markkinoilta tällä hetkellä löytyy. Saadun teoriatiedon sekä laitteistokartoituksen jälkeen luotiin alustava mallijärjestelmä, jossa aurinkoenergia-, tuulivoima-, maalämpölaitteet sekä varaaja yhdistettiin suunnitelmassa yhdeksi lämmitysjärjestelmäksi.

Teorian tutkiminen ja alustavan mallijärjestelmän luonti herätti laitteistoihin ja järjestelmään liittyviä kysymyksiä. Tämän vuoksi eri laitteistojen ja järjestelmien asiantuntijoita lähestyttiin henkilökohtaisen tapaamisen ja keskustelun kautta. Näissä yhteensä kahdeksassa haastattelussa tavattiin yrityksen edustajia, joilla oli omiin laitteistoihinsa sekä yleisesti lämmitys- ja energiajärjestelmiin liittyvää riittävän laaja-alaista tietoa. Näiden lisäksi keskusteltiin asiasta kahden muun toimijan kanssa, joista toisella on kokemusta energiajärjestelmistä asuntorakentamisen kautta, ja toisella on kokemusta energiajärjestelmistä tutkimustoiminnan sekä koulutuksen alueelta.

Tapaamisten ja keskusteluiden kautta esille tulleet vastaukset ja kommentit osoittivat, että hybridilämmitysjärjestelmä on teknisesti mahdollista toteuttaa erillisiä laitteistoja yhdistelemällä. Samalla tuli selväksi se, että tällä hetkellä markkinoilla ei ole saatavilla vastaavanlaista hybridilämmitysjärjestelmää, jossa erillislaitteistot olisi yhdistetty keskitetyn automaation ja ohjausjärjestelmän avulla yhdeksi toimivaksi laitteistokokonaisuudeksi. Keskusteluissa ja vastauksissa nousi esille se, etteivät valmistajat tällä hetkellä ole suunnitelleet omia laitteistojaan ja ohjelmistojaan sen mukaan, että ne mahdollistaisivat laitteistojen yhteensovittamisen tai toisten laitteiden ohjaamisen.



Kaikki haastateltavat olivat kuitenkin kiinnostuneita mahdollisesta hybridilaitteistosta sekä siihen liittyvästä alustavista teknisistä toteutuksista. Pääosin kaikkien haastateltavien mielestä tällainen energiatuotantotapojen ja energialaitteistojen yhdistäminen sekä laitteistoihin ja tuotantoon liittyvä optimointi kasvaa tulevaisuudessa yhä enemmän. Tässä yhteydessä keskusteluissa nousikin yleisesti esiin uuden hybridijärjestelmään liittyvän automatiikan ja ohjausjärjestelmän erityisvaatimukset sekä ohjausjärjestelmän ja automatiikan tärkeys laitteistokokonaisuuden toiminnan kannalta. Yhteisesti todettiin, että ohjausjärjestelmän ja automaation vaatimusten määrittely ja suunnittelu ovat koko kehitystyön haastavin ja aikaa vievin prosessi.

Keskusteluissa eri tahoilta tulleet positiiviset kommentit antoivat uutta uskoa kehitystyötä kohtaan sekä tukivat ajatusta siitä, että puuttuvalle tekniselle toteutukselle on markkinoilla tilausta. Positiivisten palautteiden sekä saatujen teknisten vastausten jälkeen siirryttiin tarkastelemaan uudesta näkökulmasta aikaisemmin luotua alustavaa hybridimallia.

Haastatteluista saatujen uusien tietojen ja sekä uudelleen suunnittelun pohjalta syntyi uusi hybridilämmitysjärjestelmän konsepti, jossa jokainen yksittäinen laitteisto toimi osana suurempaa yhtenäistä järjestelmäkokonaisuutta. Yksittäisten laitteistojen sekä koko järjestelmän ohjausta ja hallinnointia varten luotiin uudenlainen automaatio- ja ohjausjärjestelmä. Uuden automaation ja ohjausjärjestelmän alustava toiminnanmäärittely vaati paljon analysointia ja suunnittelua monitahoisen laitteistokokonaisuuden vuoksi. Laitteistojen yhteensovittaminen, ohjaaminen sekä hybridijärjestelmän toiminnan optimointi tarvitsi lukuisia mittaustietoja sekä muita datatietoja ohjausjärjestelmän käsiteltäväksi. Ohjausjärjestelmän tuli voida hallinnoida sekä analysoida tehokkaasti sisään tulevaa dataa sekä tehdä näiden tietojen perusteella tiettyjä tarkoin määriteltyjä ja suunniteltuja ohjaus- ja säätötoimenpiteitä. Ohjausjärjestelmään liittyvän ohjelmiston määrittely vaatii paljon syvällisempää suunnittelua ja paneutumista asiaan. Tässä työssä ei mennä niin syvälle, että pystyttäisiin tekemään tarkempaa ohjelmiston toiminnan määrittelyä.

Tutkimustyötä sekä saavutettuja tuloksia arvioitaessa voidaan todeta, että hybridi-järjestelmä on mahdollista suunnitella ja toteuttaa markkinoilla olevilla kaupallisilla laitteilla ja komponenteilla. Mahdollisesti hybridilaitteistolla ja sitä hallinnoivalla erilisellä automatiikalla ja ohjausjärjestelmällä voisi olla kaupallistakin potentiaalia, joka voitaisiin selvittää mahdollisen jatkotutkimuksen kautta.

Tuloksellisesti tutkimustyön kautta pystyttiin luomaan uudenlainen hybridilaitteiston malli. Tämän tutkimuksessa esille tuodun hybridimallin avulla ja sitä jalostamalla on mahdollista tulevaisuudessa luoda toimiva, energiatehokas, pitkälle optimoitu ja käyttäjäystävällinen energiatuotantolaitteisto. Tämän laitteiston avulla on mahdollista saavuttaa merkittäviä taloudellisia ja ympäristöllisiä hyötyjä.

Hybridilämmitysjärjestelmän kaltaiset kompleksiset keskitetysti toimivat energia-tuotantolaitteistot tulevat asiantuntijoiden mukaan yleistymään tulevaisuudessa. Ensin laitteistot tulevat yleistymään sellaisissa kohteissa, joissa energian kulutus on suurta. Tämän jälkeen hybridilaitteistot tulevat yleistymään myös pienemmissä kohteissa. Näiden kommenttien perusteella tällaiselle mallille ja tuotteelle tulee olemaan tulevaisuudessa olemaan markkinat.

Yksittäisten laitteistojen mahdollinen hintojen lasku sekä tekninen kehitys voivat tehdä hybridilämmityslaitteistosta tulevaisuudessa halutun ja kilpailukykyisen järjestelmän.

Uusien ratkaisujen ja mallien kehittämisessä esiin tulee myös ongelmia tai tilanteita, jotka tulee ottaa huomioon tai muuten ne voivat aiheuttaa ylitsepääsemättömiä ongelmia. Yhtenä kysymysmerkkinä kuitenkin nousee kaupallisten ohjauslaitteiden tietyt tekniset rajoitteet, jotka kohdistuvat lähinnä laitteistojen rajoitettuun IO-liitäntöjen määrään sekä näiden kaupallisten valmiiden ratkaisujen heikkoon laajennettavuuteen. Tämän vuoksi voi olla kannattavaa suunnitella ja räätälöidä kokonaan tällaiselle hybridilaitteistolle oma logiikka ja ohjausjärjestelmä, joka joustaa järjestelmän koon ja laitteistovaatimusten mukaan.

Hybridijärjestelmän tehokkaan, optimaalisen ja kannattavan toiminnan todentamiseksi ja varmistamiseksi tarvittaisiin kuitenkin todellinen testausympäristö ja testauslaitteisto, jolla voitaisiin erilaisin mittauksin varmistaa laitteiston todellinen potentiaali ja mahdollisuus uudenlaisena hybridienergian tuotantojärjestelmänä. Uusi

järjestelmä vaatii aina testausta ja säätöä sekä sitä, että laitteiston todellinen toiminta pitäisi pystyä osoittamaan mahdollisille potentiaalisille asiakkaille.

Hybridijärjestelmän rakentamisen ja testaamiseen ongelmana on järjestelmän eri tuotantolaitteista koostuva kokonaisuus, joka kustannusten valossa tarkasteltuna vaatii suhteellisen suuren investoinnin. Tämä laitteistoista aiheutuva suuri investointi on monessakin tilanteessa este todellisen hybridilaitteiston rakentamiselle ja käyttöönotolle.

Mikäli tätä tutkimusta haluaisi viedä pidemmälle, silloin kannattaisi ottaa tarkasteluun nimenomaan hybridijärjestelmän teknis-taloudellinen tarkastelu, jossa tuotettiin laskennallisesti esimerkin valossa esiin laitteiston vaatiman kokonaisinvestoinnin ja kokonaisenergian tuotannon välinen suhde. Tästä voitaisiin hyvinkin nopeasti päätellä, onko hybridijärjestelmän hankinta taloudellisesti järkevää vai ei.

Tulevaisuudessa energianvarastointikysymykset nousevat joka puolella maailmaa yhä merkittävämpään rooliin. Kaikkien tehokkaiden energijärjestelmien käyttöönotossa ja hyödyntämisessä tullaan törmäämään tulevaisuudessa yhä useammin energiavarastointia koskeviin ongelmiin ja kehittämistarpeisiin. Myös tätä tutkimusta voitaisiin jalostaa pidemmälle miettimällä energiatehokkaan ja toimivan energianvarastointiratkaisujen kannalta.

Yhtenä uutena tutkimusta syventävänä toimena voisi olla esimerkiksi maaperään tapahtuvan lämmönvarastoinnin selvittäminen ja kehittäminen. Tässä selvitettäisiin, kannattaako ylimääräinen saatavissa oleva lämpö varastoida maahan, jotta sitä pystytettäisiin hyödyntämään myöhemmin hybridilaitteiston tarpeisiin.

## LÄHTEET

- Alm, M. 2012. Uusiutuva energia, toimialaraportti. [Verkkojulkaisu]. TEM:n ja ELY-keskusten julkaisu. [Viitattu 6.3.2013]. Saatavissa: [http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/1628/Uusiutuva\\_energia2012\\_web.pdf](http://www.temtoimialapalvelu.fi/files/1628/Uusiutuva_energia2012_web.pdf)
- Andritschky, M. 2010. Solar Thermal Absorber Coatings. [Verkkosivu]. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: <http://www.miics.net/archive/getfile.php?file=151>
- Aurinkoenergiaa. 2014a. Aurinkoenergia Suomessa. [Verkkosivusto]. Aurinkoenergia.fi. [Viitattu 28.2.2013]. Saatavissa: <http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/184/aurinkovoimaa-suomessa>
- Aurinkoenergiaa. 2014b. Aurinkoenergia. [Verkkosivusto]. Aurinkoenergiaa.fi. [Viitattu 28.2.2013]. Saatavissa: <http://www.aurinkoenergiaa.fi/Info/23/aurinkoenergia>
- Aurinkopaneeli. Ei päiväystä. [Verkkosivusto]. Aurinkopaneeli.org. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: <http://www.aurinkopaneeli.org/>
- Aurinkosähköopas tamperelaisille. 2013. [Verkkojulkaisu]. Tampereen kaupunki. [Viitattu 25.5.2014]. Saatavissa: [http://www.tampere.fi/material/attachments/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas\\_36660\\_vedos.pdf](http://www.tampere.fi/material/attachments/a/6Gkg9C2MG/Aurinkosahkoopas_36660_vedos.pdf)
- Callidus. Ei päiväystä. Aurinkolämpö. [Verkkosivu]. Oy Callidus Ab. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: <http://www.callidus.fi/fi/lammitys/ratkaisut/aurinkolampo>
- CWP Cold Wind Power. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: <http://www.cwp.ca/>
- Eklund, E. 2011. Tampereella tuulee - Jokamiehen opas pientuulivoiman käyttöön. [Verkkojulkaisu]. Kodin vihreä energia Oy. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/6010/Joka\\_miehen\\_opas\\_pientuulivoiman\\_kayttoon.pdf](http://www.motiva.fi/files/6010/Joka_miehen_opas_pientuulivoiman_kayttoon.pdf)
- Energia auringosta Oy. Ei päiväystä. Aurinkolämpöjärjestelmän toimintaperiaate (tyhjiöputkikeräin). [Verkkosivu]. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: <http://www.energia-auringosta.fi/tuotteet/toimintaperiaate>
- Finnwind. 2014. Tuule tuulivoimalat. [Verkkojulkaisu]. Finnwind Oy. [Viitattu 24.4.2014]. Saatavissa: <http://www.finnwind.fi/tuuli/Tuule-200-tuulivoimala-yleisesite.pdf>

- Ground energy. Ei päiväystä. Aurinkoenergia. [verkkosivu]. MRP Energy Oy. [Viitattu 12.4.2014]. Saatavissa: <http://www.groundenergy.fi/aurinkoenergia2/>
- Hellström, M. Miltä tulevaisuuden energiajärjestelmä näyttää? Tekniikka & Talous. [Lehtiartikkeli]. Fortum Oy. [Viitattu 8.6.2012].
- Ilmatieteenlaitos. 2013. Kesäsään tilastoja. [Verkkosivu]. [Viitattu 16.10.2013]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/kesatilastot>
- Ilmatieteenlaitos. Ei päiväystä. Tuulet ja myrskyt, Tuuliruuus. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.2.2014]. Saatavissa: <http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>
- Institute for Energy and Transport. Ei päiväystä. Global irradiation and solar electricity potential ,Finland. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 17.10.2013]. Saatavissa: [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu\\_cmsaf\\_hor/G\\_hor\\_FI.pdf](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmeps/eu_cmsaf_hor/G_hor_FI.pdf)
- Jodat, T. 2010. Ympäristöenergian aurinkolämpöjärjestelmä-opas 2011. Ympäristöenergia Oy. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: [http://www.solution-concerto.org/IMG/pdf/Microsoft\\_Word\\_-\\_SOL\\_Ohje\\_Aurikolampojarjestelman\\_itserakennuskurssi\\_2010-2.pdf](http://www.solution-concerto.org/IMG/pdf/Microsoft_Word_-_SOL_Ohje_Aurikolampojarjestelman_itserakennuskurssi_2010-2.pdf)
- Juvonen J. Lapinlampi, T. 2013. Energiakaivo, Maalämmön hyödyntäminen pientaloissa. Ympäristöopas 2013. [Verkkojulkaisu]. Ympäristöministeriö. [Viitattu 8.4.2014]. Saatavissa: [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO\\_2013.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/40953/YO_2013.pdf?sequence=4)
- Jääskeläinen, M. Rantala & L. Sundelin, A. 2012. Merituulipuiston rakentaminen. [Verkkojulkaisu]. Prizztech Oy [Viitattu 2.4.2014]. Saatavissa: [http://www.merinoiva.fi/tiedostopankki/Merituulivoimapuiston\\_Rakentaminen\\_Raportti\\_30082012\\_285.pdf](http://www.merinoiva.fi/tiedostopankki/Merituulivoimapuiston_Rakentaminen_Raportti_30082012_285.pdf)
- Kalogirou S. 2009. Solar Energy Engineering. Burlington, Elsevier/Academic Press.
- Konttinen, P. 2004. Aurinkoenergiatekniikka. [Verkkojulkaisu]. Aalto-yliopisto. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/tfy-56.4323/materiaali/Tfy-56\\_4323\\_lect\\_4c.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/tfy-56.4323/materiaali/Tfy-56_4323_lect_4c.pdf)
- Kässi, T. Lehtovaara, M. Pyrhönen, O. Selesvuo, J. Varis, J. 2013. Suomalaisen tuulivoimateollisuuden asema, kilpailukyky ja tulevaisuuden näkymät kansainvälisillä markkinoilla. [Verkkojulkaisu]. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/35572/Tuulivoimaselvitys\\_TEM\\_25\\_01\\_2013.pdf](http://www.tem.fi/files/35572/Tuulivoimaselvitys_TEM_25_01_2013.pdf)
- Lappalainen, M. 2010. Energia ja ekologiakäsikirja, suunnittelu ja rakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

- Levator. 2009. Wind turbine towers & other heavy structure. [Verkkosivu]. Levator Oy. [Viitattu 2.4.2014]. Saatavissa: [http://www.levator.fi/index\\_tiedostot/Page809.htm](http://www.levator.fi/index_tiedostot/Page809.htm)
- Lukka, K. 2001. Konstruktiivinen tutkimusote. [Verkkosivu]. Metodix. [Viitattu 7.6.2014]. Saatavissa: [http://www.metodix.com/fi/sisallys/01\\_menetelmat/02\\_metodiartikkelit/lukka\\_const\\_research\\_app/kooste](http://www.metodix.com/fi/sisallys/01_menetelmat/02_metodiartikkelit/lukka_const_research_app/kooste)
- Lämpö ja energia. II Pääsääntö. [Verkkojulkaisu]. YLE, etälukio. [Viitattu 24.4.2014]. [http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/4/4.toi\\_ps.html](http://www02.oph.fi/etalukio/opiskelumodulit/fysiikka/fysiikka4/4/4.toi_ps.html)
- Lämpöässä. 2014. Maalämmön täystehoiset pikkujättiläiset. [Verkkojulkaisu]. Suomen Lämpöpumpputeknikka Oy. [Viitattu 24.4.2014]. Saatavissa: <http://www.lampoassa.fi/sites/lampoassa.fi/files/Vsi%20%C3%84ss%C3%A4Control-esite%20FInet.pdf>
- Motiva. 2012a. Auringosta lämpöä ja sähköä. [Verkkojulkaisu]. Motiva Oy. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta\\_lampoa\\_ja\\_sahkoa2012.pdf](http://www.motiva.fi/files/6137/Auringosta_lampoa_ja_sahkoa2012.pdf)
- Motiva. 2012b. Lämpöä omasta maasta. [Verkkojulkaisu]. Motiva Oy. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa\\_omasta\\_maasta\\_Maalampopumput.pdf](http://www.motiva.fi/files/7965/Lampoa_omasta_maasta_Maalampopumput.pdf)
- Motiva. 2014. Tyhjiöputkikeräimet. [Verkkosivu]. Motiva Oy. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: [http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva\\_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet](http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/aurinkoenergia/aurinkolampo/tyhjioputkikeraimet)
- Motiva. 2010. Selvitys hajautetusta ja paikallisesta energiantuotannosta erilaisilla asuinalueilla. [verkkojulkaisu]. Motiva Oy. [Viitattu 14.1.2013]. Saatavissa: [http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/237/Hajautettu\\_ja\\_paikallinen\\_energiantuotanto\\_loppuraportti.pdf](http://www.motivanhankintapalvelu.fi/files/237/Hajautettu_ja_paikallinen_energiantuotanto_loppuraportti.pdf)
- Motiva. 2011. Pientalon lämmitysjärjestelmät. [Verkkojulkaisu]. Motiva Oy. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/4970/PientalonLammitysjarjestelmat.pdf>
- NAPS, Power of light. 2013. Naps NSR Aurinkosähköjärjestelmä. [Verkkosivu]. Naps Systems Oy. [Viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: [http://www.napssystems.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/NSR4\\_2013\\_FI\\_mail.pdf](http://www.napssystems.com/wordpress/wp-content/uploads/2014/01/NSR4_2013_FI_mail.pdf)

- Opettajankoulutuslaitos. Ei päiväystä. Energialähteet ja varat. [Verkkosivu]. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos. [Viitattu 28.2.2013]. Saatavissa: [http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/energia/5\\_energialahteet.htm](http://www.malux.edu.helsinki.fi/malu/kirjasto/energia/5_energialahteet.htm)
- Pitkäranta, A. 2010. Laadullisen tutkimuksen tekijälle. [Verkkojulkaisu]. Satakunnan AMK. [Viitattu 7.6.2014]. Saatavissa: [http://www.samk.fi/download/13153\\_Laadullisen\\_tutkimuksen\\_tyokirja\\_APitkaranta.pdf](http://www.samk.fi/download/13153_Laadullisen_tutkimuksen_tyokirja_APitkaranta.pdf)
- Poratek. 2009. Normilämpökaivon kriteerit. [Verkkosivu]. Suomen kaivonpo-rausurakoitsijat ry. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.poratek.fi/fi/lampokaivot/normilampokaivon+kriteerit/>
- Saimaa Gardens Services. Ei päiväystä. Maalämpö. [Verkkosivu]. One1 Oy. [Viitattu 9.4.2014]. Saatavissa: <http://www.saimaagardens.one1.fi/index.php?mid=43>
- Saint-Gobain Pipe Systems. 2005. M-Bus-verkon rakenne. [Verkkosivu]. Saint-Gobain Pipe Systems Oy. [Viitattu 14.1.2013]. Saatavissa: <http://www.sgps.fi/sivu.asp?taso=4&id=6>
- Savosolar. 2011. Aurinkokeräimen rakenne. [Verkkojulkaisu]. Savosolar Oy. [Viitattu 24.4.2014]. Saatavissa: <http://www.savosolar.fi/images/stories/downloads/Savosolar-SF-100-02-Technical-Datasheet-WEB.pdf>
- Siemens energy. 2014. The Siemens D6 Platform. [Verkkosivu]. Siemens Oy. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.energy.siemens.com/hq/en/renewable-energy/wind-power/platforms/d6-platform/>
- SOLPROS AY. 2000. Aurinkolämmön itserakennusopas. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 2.1.2014]. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/SolarGuide.PDF>
- SOLPROS AY. 2006. Aurinkolämpöjärjestelmien perusteet, mitoitus ja käyttö. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 12.11.2013]. Saatavissa: <http://www.kolumbus.fi/solpros/reports/OPAS.pdf>
- ST1. Ei päiväystä. Maalämpöpumppu ja sen toimintaperiaate. [Verkkosivu]. [Viitattu 24.4.2014] Saatavissa: <http://st1maalampo.fi/maalampo/maalampopumppu-toiminta/>
- Suntekno. Ei päiväystä. Aurinkopaneelit. [Verkkojulkaisu]. Suntekno Oy. [Viitattu 24.4.2014]. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/resources/public/tietopankki/paneelit.pdf>
- Suntekno. 2012. Lataussäätimet. [Verkkosivu]. Suntekno Oy. [Viitattu 4.5.2014]. Saatavissa: <http://www.suntekno.fi/lataussaatimet>

- Suomen tuuliatlas. Ei päiväystä. Mitä tuuli on. [Verkkosivu]. [Viitattu 29.1.2014]. Saatavissa: [http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus\\_2.html](http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/tuulisuus_2.html)
- Suomen tuuliatlas. Ei päiväystä. Tuulitiedot Suomen kartalla. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.2.2014a]. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/fi/index.html>
- Suomen tuuliatlas. Ei päiväystä. Tuulisuus Suomessa. [Verkkosivu]. [Viitattu 28.2.2014b]. Saatavissa: <http://www.tuuliatlas.fi/tuulisuus/index.html>
- STY. Ei päiväystä. Mitä tuuli on. [Verkkosivu]. Suomen tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu: 30.1.2014]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/tuuli>
- STY. Ei päiväystä. Pientuulivoima. [Verkkosivu]. Suomen tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>
- STY. Ei päiväystä. Tietoa ostajalle. [Verkkosivu]. Suomen tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 22.3.2014]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimayhdistys.fi/pientuulivoima>. [http://www.tuulivoimayhdistys.fi/yleista\\_tekniikasta](http://www.tuulivoimayhdistys.fi/yleista_tekniikasta)
- STY. Ei päiväystä. Tuulivoimatieto sivusto. [Verkkosivu]. Suomen tuulivoimayhdistys ry. [Viitattu 6.4.2014]. Saatavissa: <http://www.tuulivoimatieto.fi/pystyakseliset>
- Syvänen, T. & Mikkonen, K. 2011. Saisiko olla lähien energiapalveluita. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 14.1.10.2013]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/julkaisut/Selvityksi%C3%A4-sarja/Selvityksia60.pdf>
- Tarasti, L. 2012a. Tekniikka & Talous. [Lehtiartikkeli]. [Viitattu 7.12.2012].
- Tarasti, L. 2012b. Tuulivoimaa edistämään. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Verkkojulkaisu]. Työ- ja elinkeinoministeriö. [Viitattu 14.1.2013]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/32699/Tuulivoimaa\\_edistamaan\\_A4\\_lop.pdf](http://www.tem.fi/files/32699/Tuulivoimaa_edistamaan_A4_lop.pdf)
- TEM, Energiateollisuus ry. 2013. Aurinkolämmön liiketoimintamahdollisuudet kaukolämmön yhteydessä Suomessa. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 27.4.2014]. Saatavissa: [http://www.tem.fi/files/38022/Aurinkokaukolampo\\_Loppuraportti\\_7.6.2013.pdf](http://www.tem.fi/files/38022/Aurinkokaukolampo_Loppuraportti_7.6.2013.pdf)
- There Corboration. Energianhallintaratkaisut. [Verkkosivu]. There Corboration Oy. [Viitattu 14.1.2013]. Saatavissa: <http://www.therecorporation.com/fi/ratkaisut>
- Vattenfall Oy. 2013. Miten nykyaikainen tuulivoimalaturbiini toimii. [Verkkosivu]. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://corporate.vattenfall.fi/fi/miten-tuulivoimala-toimii.htm>



- Varjotie, J. 2012. Suomalaisia aurinkolämpöratkaisuja. [Verkkojulkaisu]. Savosolar Oy. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: [http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/2012\\_JVa.pdf](http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/2012_JVa.pdf)
- Varjotie, J. 2013. Aluminium absorber comparison: Performance, production and costs. [Verkkojulkaisu]. Savosolar Oy. [Viitattu 25.4.2014]. Saatavissa: [http://solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2013-02-04/jari\\_varjotie\\_savosolar\\_smothermal\\_2013.pdf](http://solarthermalworld.org/sites/gstec/files/news/file/2013-02-04/jari_varjotie_savosolar_smothermal_2013.pdf)
- Virsta, virtual statistics. Ei päiväystä. Laadullisen ja määrällisen tutkimuksen erot. [Verkkosivu]. Tilastokeskus. [Viitattu 7.6.2014]. Saatavissa: <http://tilastokeskus.fi/virsta/tkeruu/01/07/>
- VTT. 2013. Suomen tuulivoimatilastot. [Verkkosivu] Valtion teknillinen tutkimuskeskus. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/proj/windenergystatistics/>
- Väätänen, J. 2012. VITOSOL, Aurinkolämpö mitoitus. [Verkkojulkaisu]. Viessman. [Viitattu 24.4.2014]. Saatavissa: [http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/2012\\_JVt.pdf](http://www.aurinkoteknillinenyhdistys.fi/liite/2012_JVt.pdf)
- Windside. 2014. Mökki- ja venesähköä, luonnollisesti tuulesta. [Verkkojulkaisu]. Oy Windside Production Ltd. [Viitattu 29.4.2014]. Saatavissa: <http://www.windside.com/filebank/356-MokkiEsite2014.pdf>

## **LIITTEET**

**LIITE 1 Hybridilämmitysjärjestelmä konseptin toteutukseen/haastatteluun osallistuneet tekniset asiantuntijat**

**LIITE 2 Kysymykset: Maalämpöasiantuntijoille (Gebwell Oy, Oilon Home Oy & Lakeuden Ekolämpö Oy)**

**LIITE 3 Kysymykset: Aurinkopaneeli- ja Tuulivoima-asiantuntijoille (Finnwind Oy, Darrox Oy & AC Tower Company Oy)**

**LIITE 4 Kysymykset: Aurinkokeräinasiantuntijalle (Savosolar Oy)**

**LIITE 1 Hybridilämmitysjärjestelmä konseptin toteutukseen/haastatteluun osallistuneet tekniset asiantuntijat:**

Timo Ahvenainen, Myyntipäällikkö, Oilon Home Oy

Petrus Monni, Myyntipäällikkö, Gebwell Oy

Pasi Hietikko, Toimitusjohtaja, Lakeuden ekolämpö Oy

Olavi Hirviniemi, Toimitusjohtaja, AC Tower Company Oy

Kari Wahlroos, Myyntijohtaja, Darrox Oy

Jukka Keski-Oja, Projektipäällikkö Darrox Oy

Matias Peräinen, Projektimyynti FinnWind Oy

Ilmo Lounasmaa, Myyntijohtaja, There Corporation Oy

Jari Varjotie, Toimitusjohtaja, Savosolar Oy

Erkki Hiltunen, Puheenjohtaja, Vaasan Energiainstituutti

Jukka Kiijärvi, Tutkijatohtori, Vaasan Energiainstituutti

Pekka Peura, Kehittämispäällikkö, Levón-instituutti

Jouni Kannonlahti, Projektitutkija, Levón-instituutti

Ari Haapanen, Projektipäällikkö, Levón-instituutti

Petri Välisuo, Tutkijatohtori, Vaasan yliopisto

Oiva Nyrhilä, Tekninen rakennuttaja, Lakea Oy

Jouko Putkonen, Projektipäällikkö, Merinova Oy

**LIITE 2 Kysymykset: Maalämpöasiantuntijoille (Gebwell Oy, Oilon Home Oy & Lakeuden Ekolämpö Oy)**

1. Onko teidän mielestänne hybridi-laitteessa (maalämpö, aurinkokeräimet, tuulivoima) mahdollisuuksia, teknisesti yms., vai teemmekö turhaa tutkimustyötä.
2. Minkälaisena te näette mahdollisen hybridi-laitteen tulevaisuudessa, entä sen uhat, markkinat yms.?
3. Mistä kokonaisvaltainen "Maalämpö" järjestelmä teknisesti koostuu? Kannatatteko osateho mitoittamiseen vai täysiteho mitoittamiseen perustuvaa lämpöpumppua?
4. Onko teidän yhteistyökumppaneilla tarjolla hybridi-laitteita, joissa on yhdistettyinä tuulivoima tuottamaan sähköä muille järjestelmään kuuluville laitteille?
5. Miten teidän maalämpö sopii yhdistää muiden toimittajan laitteiden kanssa, onko rajoituksia (tuulivoima, aurinkoenergia, ohjausjärjestelmä)?
6. Minkälaisia neuvoja teillä olisi maalämmön ja komponenttien mitoittamiseen ja valintaan? Onko teidän lämpöpumpun tehoa (käyntiä) mahdollista säätää esim. taajuusmuuttajalla tai invertterillä?
7. Näettekö mahdollisuutena varastoida ylimääräistä auringosta saatavaa energiaa maalämpökaivoon? Kaivon lämmitystä tehtäisiin silloin kun varaaja on täynnä ja ns. ylimääräistä lämpöä olisi kerääjistä kuitenkin saatavilla. Oletteko tutkineet, onko olemassa tutkimuksia tähän liittyen, saavutetaanko tällä etuja tai hyötyjä?
8. Oletteko miettineet mahdollisuutta, että aurinkokeräimissä ja maalämmön keuruupiirissä kiertäisi sama yhteinen neste? Saavutettaisiinko tällä mahdollisesti hyötyjä?
9. Olisiko teidän tuotteita/komponentteja mahdollista ohjata ja hallita "ulkopuolisella ohjauslaitteella"? Minkälainen liityntärajapinta vaaditaan?

10. Minkälaisia komponentteja vaaditaan, ohjaukseen? Onko olemassa yhteisohjausta ja jos, niin ketkä ovat sellaisia toimittajia, joiden laitteilla voitaisiin tämä yhteisohjaus toteuttaa?
11. Ongelmia, teknisiä rajoituksia yms. tuuliturbiinille, maalämmölle ja aurinkokeräimille mahdollisesti tehtävälle yhteiselle ohjauslaitteelle?
12. Onko maalämmön ohjausjärjestelmässä "älyä", joka seuraisi esim. pörssisähkö hintaa (lämmitetään kun halpaa sähköä) tai ennustaisi tulevaa tarvetta sään (huomenna kylmenee) suhteen yms.
13. Maalämmön mitoitus, tekniset rajoitukset, koko yms. ?
14. Onko ohjausjärjestelmässä kiinnitetty huomiota aurinkokeräinten yms. ulkoisten laitteiden ohjaamiseen ja tarpeisiin? Pystytäänkö teidän ohjausyksiköllä ohjaamaan myös aurinkokeräimiä ja hyödyntämään niitä tehokkaasti?
15. Näettekö te tässä hybridi tarkastelussa jotain teknisiä ja kriittisiä ongelmia, jotka teidän mielestä pitäisi ottaa tarkasti huomioon?
16. Oletteko tietoisia, että jokin laitetoimittaja olisi kasannut tällaisen hybridi-laitteen?
17. Teettekö minkään tuulivoima-, aurinkokeräintoimittajan kanssa tiivistä yhteistyötä, ketä voisitte suositella mahdolliseksi yhteistyökumppaniksi tai johon meidän kannattaisi olla yhteydessä?
18. Tuulivoimasta ja (auringosta) saatava ylimääräinen sähköenergia, jota kiinteistö ei sillä hetkellä pysty hyödyntämään, akkuun vai suoraan sähköyhtiön verkkoon syötettynä?
19. Mikä tekee teidän tuotteista tehokkaamman, kilpailukykyisemmän?
20. Miten te näette tulevaisuudessa yleensä mahdollisuudet ja markkinat uusiutuvassa energiassa esim. viiden vuoden sisällä?
21. Mitä te odotatte tältä yhteistyöltä ja miten me voitaisiin auttaa saavuttamaan ne? Mitä mahdollisia alueita, asioita haluaisitte, että selvittäisimme lisää?

**LIITE 3 Kysymykset: Aurinkopaneeli- ja Tuulivoima-asiantuntijoille (Finnwind Oy, Darrox Oy & AC Tower Company Oy)**

1. Onko teidän mielestänne hybridi-laitteessa mahdollisuuksia, teknisesti yms., vai teemmekö turhaa työtä.
2. Minkälaisena te näette mahdollisen hybridi-laitteen tulevaisuudessa, entä sen markkinat?
3. Mistä kokonaisvaltainen ”Tuulivoima” järjestelmä teknisesti koostuu?
4. Onko teidän yhteistyökumppaneilla tarjolla hybridi-laitteita, joissa on yhdistetty-nä tuulivoima?
5. Miten teidän tuotteet (tuulivoima) kannattaa yhdistetään muiden toimittajien lait-teiden kanssa (maalämpö)?
6. Onko teillä neuvoja tuuliturbiinin, maston ja komponenttien mitoitukseen ja valin-taan?
7. Pystyykö teidän tuotteita/komponentteja ohjaamaan ja hallitsemaan laitetoimit-tajan ohjauslaitteella ja miten se on toteutettu? Minkälainen liityntärajapinta?
8. Minkälaisia komponentteja vaaditaan, ohjaukseen? Mitkä ovat sellaisia toimitta-jia joiden laitteilla voitaisiin tämä yhteisohjaus toteuttaa?
9. Tuulivoiman mitoitus, tekniset rajoitukset, koko yms. ?
10. Pystytäänkö teidän paneeleilla tuottamaan sekä lämpöä, että sähköä?
11. Miten te näette näiden keräintapojen yhdistämisen yhteen pakettiin? kuinka hyvin toimivat? ovatko todellisuudessa vaihtoehto?
12. Mitenkä te näette tällaisen hybridi-järjestelmän sen mahdollisuudet, uhat, markkinat, (asiakaskohteet, jolle voitaisiin myydä) yms.?
13. Näettekö te tässä hybridi tarkastelussa jotain teknisiä ja kriittisiä ongelmia, jot-ka teidän mielestä pitäisi ottaa huomioon?

14. Oletteko tietoisia, että jokin laitetoimittaja olisi kasannut tällaisen hybridi-laitteen?
15. Teettekö minkään maalämpö-, aurinkokeräintoimittajan kanssa tiivistä yhteistyötä, ketä voisitte suositella mahdolliseksi yhteistyökumppaniksi?
16. Tuulivoimasta ja (auringosta) saatava ylimääräinen sähköenergia, jota kiinteistö ei sillä hetkellä pysty hyödyntämään, akkuun vai suoraan sähköyhtiön verkkoon syötettynä?
17. Mikä tekee teidän tuotteista tehokkaamman, kilpailukykyisemmän?
18. Miten te näette tulevaisuudessa yleensä mahdollisuudet ja markkinat uusiutuvassa energiassa esim. viiden vuoden sisällä?
19. Mitä te odotatte tältä yhteistyöltä ja miten me voitaisiin auttaa saavuttamaan ne?

**LIITE 4 Kysymykset: Aurinkokeräinasiantuntijalle (Savosolar Oy)**

1. Onko teidän mielestänne hybridi-laitteessa mahdollisuuksia, teknisesti yms., vai teemmekö turhaa työtä.
2. Minkälaisena te näette mahdollisen hybridi-laitteen tulevaisuudessa, entä sen markkinat?
3. Mistä kokonaisvaltainen ”Aurinko” järjestelmä teknisesti koostuu?
4. Ketkä ovat teidän tärkeimmät pääyhteistyökumppanit, jotka myyvät teidän kokonaisvaltaisia aurinko-järjestelmiä? Onko teidän yhteistyökumppaneilla tarjolla hybridi-laitteita?
5. Miten teidän tuotteet (tasokeräin) yhdistetään muiden toimittajan laitteiden (maalämpö) kanssa?
6. Pystyykö teidän tuotteita/komponentteja ohjaamaan ja hallitsemaan laitetoimittajan ohjauslaitteella ja miten se on toteutettu? Minkälainen liityntärajapinta?
7. Minkälaisia komponentteja vaaditaan, ohjaukseen? Mitkä ovat sellaisia toimittajia joiden laitteilla voitaisiin tämä yhteisohjaus toteuttaa?
8. Aurinkokeräin mitoitus, tekniset rajoitukset, koko yms. ?
9. Pystytäänkö teidän paneeleilla tuottamaan sekä lämpöä, että sähköä?
10. Miten te näette näiden keräintapojen yhdistämisen yhteen pakettiin? kuinka hyvin toimivat? ovatko todellisuudessa vaihtoehto?
11. Mitenkä hyödynnetään ylimääräinen lämpöenergia kesällä, kun varaaja on jo täynnä ja energian olisi edelleen saatavilla?
12. Mitenkä te näette tällaisen hybridi-järjestelmän sen mahdollisuudet, uhat, markkinat, (asiakaskohteet, jolle voitaisiin myydä) yms.?
13. Näettekö te tässä hybridi tarkastelussa jotain teknisiä ja kriittisiä ongelmia, jotka teidän mielestä pitäisi ottaa huomioon?



14. Oletteko tietoisia, että jokin laitetoimittaja olisi kasannut tällaisen hybridi-laitteen?
15. Teettekö minkään maalämpötoimittajan kanssa tiivistä yhteistyötä, ketä voisitte suositella mahdolliseksi yhteistyökumppaniksi?
16. Onko teillä kokemuksia tai yhteistyöstä tuulivoima toimittajien kanssa, onko joku toimittaja jota voisitte suositella yhteistyökumppaniksi?
17. Tuulivoimasta ja (auringosta) saatava ylimääräinen sähköenergia, jota kiinteistö ei sillä hetkellä pysty hyödyntämään, akkuun vai suoraan sähköyhtiön verkkoon syötettynä?
18. Mikä tekee teidän tuotteista tehokkaamman, kilpailukykyisemmän?
19. Miten te näette tulevaisuudessa yleensä mahdollisuudet ja markkinat uusiutuvassa energiassa esim. viiden vuoden sisällä?
20. Mitä te odotatte tältä yhteistyöltä ja miten me voitaisiin auttaa saavuttamaan ne?